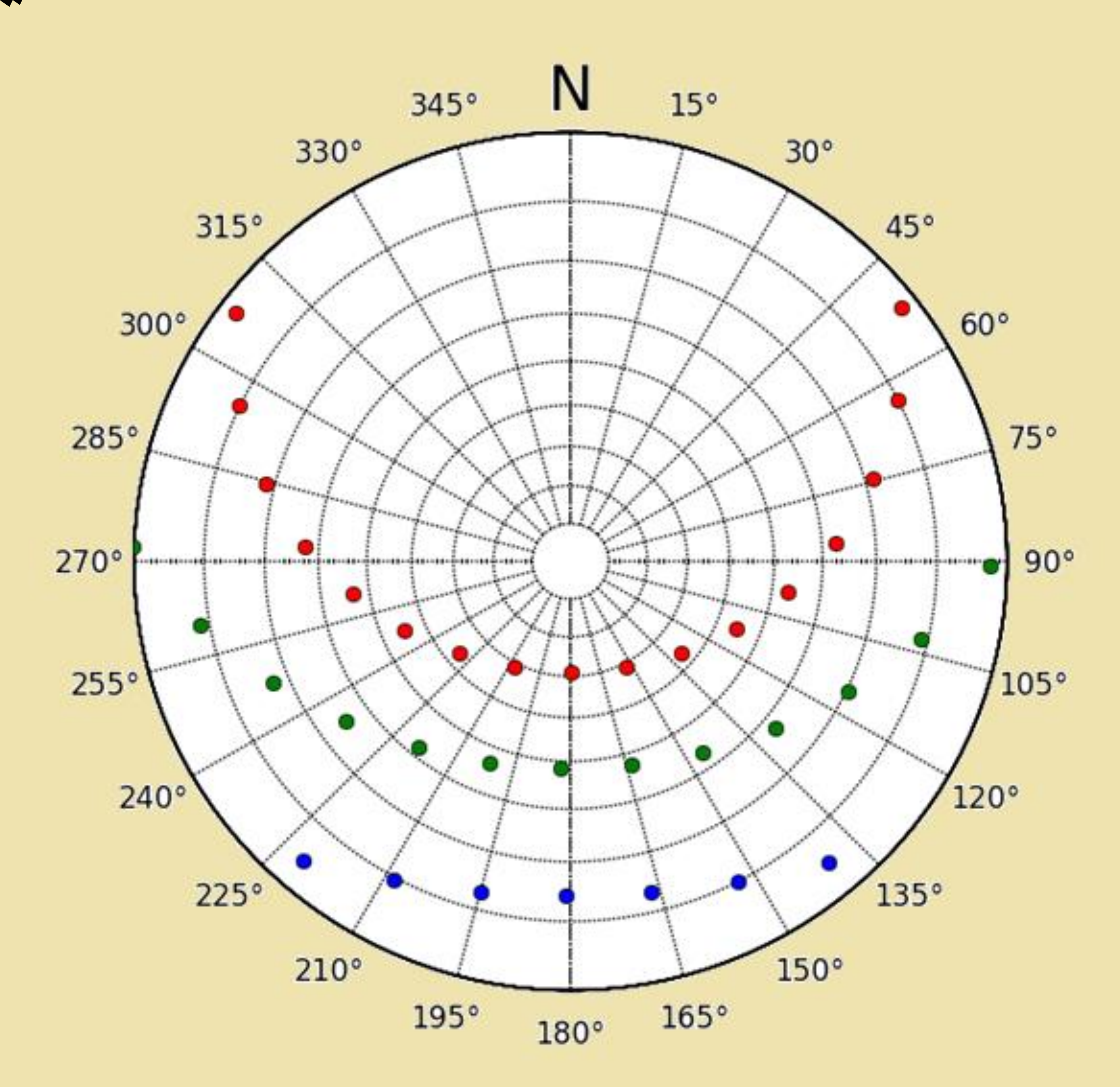
المواقيت والقبلة

دليل الحساب الفلكي



أحمد محمد الأنصاري

المواقيت والقبلة

دليل الحساب الفلكي

أحمد محمد الأنصاري

الطبعة الأولى

2025م

مقدمة

الحمد لله الذي جعل الشمس والقمر حسبانًا، وقدّر الليل والنهار بمقدار، وعلّم الإنسان ما لم يعلم، ورفع من شأن العلم والعلماء، وبعد.

يُعد علم المواقيت من العلوم التطبيقية الأصيلة التي نشأت في أحضان الحضارة الإسلامية، وارتبطت ارتباطًا وثيقًا بالعبادات اليومية والسنوية للمسلمين، كالصلاة والصيام والحج. وقد جمع هذا العلم بين الرصد الفلكي والحساب الرياضي، وساهم في تطوير المعارف الفلكية والهندسية لدى المسلمين على مرّ العصور. ولم يكن علم المواقيت مجرد علم نظري، بل كان له أثر مباشر في تنظيم حياة المسلمين، وضبط عباداتهم، وتحديد أوقات شعائرهم بدقة متناهية.

فإن معرفة أوقات الصلاة وتحديد اتجاه القبلة من أعظم ما يحتاج إليه المسلم في حياته، إذ بها يقيم ركنًا من أركان دينه، ويؤدي عباداته في أوقاتها المعلومة على هديٍ من الشريعة. وقد اعتمد المسلمون عبر القرون على وسائل متنوعة لحساب هذه المواقيت، بدءًا بالمراقبة المباشرة لحركة الأجرام السماوية، ومرورًا باستخدام الأدوات الفلكية كالإسطرلاب والربع المجيب، وانتهاءً بما أتاحته المعادلات الرياضية الحديثة، والبرمجيات المحوسبة من دقة وسهولة.

يأتي هذا الكتاب ليكون حلقةً تربط بين التراث الفلكي الإسلامي الزاخر، والمعرفة الرياضية والفلكية المعاصرة. فيعرض بأسلوب مبسط ودقيق كيفية حساب موقع الشمس في السماء في أي وقت وزمان، ليستنتج من ذلك أوقات الصلوات الخمس، بالإضافة إلى حساب سمت القبلة ووقتها لأي موقع على الأرض، مراعيًا في ذلك الجوانب الفقهية المعتمدة في تحديد كل وقت.

وقد تحرّينا في هذا العمل أعلى درجات الدقة، وسلكنا في الحساب مسلكًا مغايرًا لما وجدناه في أغلب الكتب العربية، سواء في طريقة العرض أو منهجية الحساب، مستفيدين من أدوات العصر ومعادلاته الدقيقة. كما نطمح لأن يكون هذا الكتاب مرجعًا علميًا موثوقًا في الحسابات الفلكية المتعلقة بعلم المواقيت، خاصة تلك المرتبطة بتحديد مواقيت الصلاة واتجاه القبلة بدقة ووضوح.

نسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصًا لوجهه الكريم، وأن ينفع به قارئه ودارسه، وأن يوفقنا لخدمة دينه وبيان آياته في الآفاق والأنفس.

أحمد محمد الأنصاري

دولة الكويت 2025

العبادات الزمنية وأحكامها الشرعية

الصلوات المفروضةُ خمسٌ في اليوم والليلة، ولكل صلاة منها وقتٌ معينٌ حدده الشرع، وهذا الوقت له بداية لا تصحّ الصلاة إذا قدمت عليه، وله نهاية يَحْرُم تأخيرُها عنه، قال الله تعالى: {إن الصلاة كانت على المؤمنين كتابًا موقوتًا} [النساء:103]، أي: مفروضًا في أوقات محددة.

ووَقْتُ كلِّ صلاةٍ من هذه الصلوات المفروضة يتناسب مع أحوال العباد وظروف حياتهم ومعيشتهم، فقد اختارها الله تعالى بحيث يؤديها العباد في هذه الأوقات دون أن تحبِسهم عن أعمالهم الأخرى.

ومن رحمة الله تعالى أن جعلَ المحافظة على هذه الصلوات الخمس في أوقاتها سببًا لتكفير الخطايا التي يصيبها العباد; فقد شبهها النبي صلى الله عليه وسلم بالنهر الجاري الذي يغتسل منه الإنسان خمس مرات في اليوم والليلة، فلا يبقى من أوساخ بدنه شيء.

روى أبو هريرة رضي الله تعالى عنه أن رسول الله صلى الله عليه وسلم قال: (أرأيتم لو أن نهرًا بباب أحدكم يغتسل منه كل يوم خمسَ مرات، هل يبقى من درنه شيء؟) قالوا: لا يبقى من درنه شيء، قال: (فذلك مَثَلُ الصلوات الخمس، يمحو الله بِهِنَّ الخطايا) رواه البخاري ومسلم في

"صحيحيهما"، و(الدَّرَنُ) هو: الوسَخ، والمراد هنا الدرن المعنوي وهو الذنوب.

وعن عثمان بن عفان رضي الله تعالى عنه، قال: قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: (مَن أتمَّ الوُضوء كما أمره الله تعالى، فالصلوات المكتوبات كفارات لما بينهن) رواه مسلم.

والصلاة تجب بدخول وقتها; لقول الله تعالى: {أَقِمِ الصَّلاةَ لِدُلُوكِ الشَّمْسِ} [الإسراء:78].

وقد أجمع العلماء على فضيلة الإتيان بالصلاة في أول وقتها لهذه الآية، ولقوله تعالى: {فَاسْتَبِقُوا الْخَيْرَاتِ} [البقرة:148]، وقوله سبحانه: {وَسَارِعُوا إِلَى مَغْفِرَةٍ مِنْ رَبِّكُمْ} [آل عمران:133]، وقد قال الله تعالى: {وَالسَّابِقُونَ السَّابِقُونَ * أُولَئِكَ الْمُقَرَّبُونَ} [الواقعة:10-11].

وعن عبد الله بن مسعود رضي الله تعالى عنه، قال: سألت النبي صلى الله عليه وسلم: أيُّ العمل أحبُّ إلى الله؟ قال: (الصلاة على وقتها) [أي: في أول وقتها]، قال: ثم أيٌّ؟ قال: (ثم بِرُّ الوالدين)، قال: ثم أيٌّ؟ قال: (الجهاد في سبيل الله) رواه البخاري ومسلم.

وقال سبحانه وتعالى: {حَافِظُوا عَلَى الصَّلَوَاتِ} [البقرة:238]، ومِن المحافظة عليها الإتيانُ بها أول وقتها.

مواقيت الصلوات الخمس

بيَّن رسول الله صلى الله عليه وسلم مواقيت الصلوات للمسلمين بالقول والفعل، وثبت في الأحاديث الصحيحة أن جبريل عليه السلام جاء إلى النبي صلى الله عليه وسلم بعد أن فُرضت الصلوات الخمس يُعَرِّفه وقت أداء كل منها ابتداءً وانتهاءً.

فقد روى الإمام مسلم في صحيحه عن أبي موسى الأشعري رضي الله تعالى عنه، عن رسول الله صلى الله عليه وسلم أنه أتاه سائلٌ يسأله عن مواقيتِ الصلاة، فَلَم يَرُدَّ عليه شيئًا، [وفي رواية أخرى عند مسلم أيضًا أن رسول الله صلى الله عليه وسلم قال له: (اشهد معنا الصلاة)]، قال: فأقام الفجرَ حين انشقَّ الفجرُ -طلع ضوؤه- والناس لا يكاد يعرف بعضُهم بعضًا. ثم أمره فأقام بالظهر حين زالتِ الشمسُ -مالَت عن وسْط السماء- والقائل يقول قد انتصف النهار، وهو كان أعلم منهم. ثم أمره فأقام بالعصر والشمس مرتفعة. ثم أمره فأقام بالمغرب حين وقعت الشمسُ. ثم أمره فأقام العشاء حين غاب الشَّفَقُ -الشفق: هو الحمرة التي تظهر بعد غروب الشمس- ثم أخَّرَ الفجرَ من الغد حتى انصرف منها والقائل يقول: قد طلعت الشمس أو كادت. ثم أخر الظهر حتى كان قريبًا من وقت العصر بالأمس. ثم أخر العصر حتى انصرف منها والقائل يقول

قد احمرَّت الشمس. ثم أخر المغرب حتى كان عند سقوط الشفق -أي: عند غيابه- ثم أخر العشاء حتى كان ثلث الليل الأول. ثم أصبح، فدعا السائلَ، فقال: (الوقتُ بين هذين).

وهناك أحاديث أخرى غير هذا الحديث الجامع، بيَّن فيها النبيُّ صلى الله عليه وسلم بعضَ ما أُجمل فيه، أو زادَ عليه، كما سيأتي في تفصيل وقت كل صلاة.

وقت صلاة الفجر

يدخل وقت الفجر بطلوع الفجر الصادق، ويمتد إلى طلوع الشمس، والمقصود: طلوعُ بعضِها؛ وذلك لما رواه الإمام مسلم في "صحيحه" من حديث عبد الله بن عمرو بن العاص رضي الله تعالى عنهما أن رسولَ الله صلى الله عليه وسلم قال: (وقت صلاة الصبح من طلوع الفجر ما لم تطلع الشمس).

و(الفجر الصادق) -ويُقالُ له أيضًا: الفجر الثاني-: هو الذي ينتشر ضوؤه مُعترِضًا بنواحي السماء جهة المشرق.

والفجر الصادق غير الفجر الكاذب -ويقال له أيضًا: الفجر الأول- وهو الذي يطلع مستطيلاً كذَنَب السِّرْحان -أي: الذئب- ثم يعقبه طلوع الفجر الصادق.

وقت صلاة الظهر

يدخل وقت الظهر بميل الشمس عن وَسْط السماء إلى جهة المغرب، وهو ما يُطلق عليه الزَّوالُ، ويُعرفُ ذلك بحدوث الظِّل من عدمه، أو بزيادته بعد تناهي قِصَره.

وذلك أن الشمس إذا طلعت حصل لكلِ شاخصٍ ظلٌ طويل في جهة المغرب، ثم يَنقُص بارتفاعه شيئًا فشيئًا إلى أن تنتهي إلى وسْط السماء، وهي حالة الاستواء، فينعدم الظل حينئذ بالكلية في بعض البلاد، ويبقى بعضُه في غالبها، ثم تميل الشمس إلى جهة المغرب، فيحدُثُ الظلُّ من جهة المشرق، إن لم يكن قد بقي بعضه عند الاستواء، ويزداد إن كان قد بقي بعضه، ويُسِمُّونه ظلَّ الزوال.

وذلك المَيلُ المتحققُ بحدوث الظِّلِّ أو زيادته هو الزوال الذي به يدخل وقت الظهر.

ويمتد وقت الظهر إلى أن يصير طولُ ظلِّ كل شيءٍ مثله، علاوة على ظل الزوال الذي كان علامة على أول وقت الظهر.

روى الإمام مسلم في صحيحه أن رسول الله صلى الله عليه وسلم، قال: (وقتُ الظهر إذا زالت الشمسُ وكان ظلُّ الرجل كطوله، ما لم يحضُر العصرُ).

ويُستحب تعجيل صلاة الظهر في أول الوقت، إلا في شدة الحرِّ في مكان يتعرَّض فيه المصلِّي لأشعة الشمس المباشرة، فيستحب تأخيرها إلى أن ينكسِر الحرُّ، ليتجنب ضرر الشمس، وليجتمع عليه قلبه وخشوعه في الصلاة؛ فعن أبي هريرة رضي الله تعالى عنه عن النبي صلى الله عليه وسلم قال: (إذا اشتد الحر فأبرِدوا بالصلاة، فإن شدة الحر من فَيْحِ جَهنم) رواه البخاري ومسلم. و(الإبرادُ) هو الدخولُ في البَرْدِ، أي: أخِّروا صلاةَ الظهر إلى حين يبرُد النهارُ، وتنكسِر شدةُ الحر، ومعنى قوله صلى الله عليه وسلم: (فإن شدة الحر من فَيْحِ جَهنم): أي أن شدة حر الشمس في الصيف كشدة حر جهنم، أي فيه مشقةٌ مثلُه، فاحذروها.

وقت صلاة العصر

يبدأ وقت العصر بنهاية وقت الظهر، ويستمر حتى تمام غروب الشمس، فلا يوجد فاصلٌ بين نهاية وقت الظهر وبداية وقت العصر.

ودلَّ على نهاية وقت العصر قول النبيِّ صلى الله عليه وسلم: (من أدرك ركعةً من العصر قبل أن تغربَ الشمسُ، فقد أدرك العصرَ)، رواه البخاري ومسلم من حديث أبي هريرة رضي الله تعالى عنه.

والمختار عند أهل العلم ألا يؤخرها المصلي عن مصير ظلِّ الشيء مِثلَيه، علاوةً على ظل الزوال؛ لما ثبت في الحديث أن جبريل أمَّ رسول الله صلى الله عليه وسلم في آخر وقت العصر، ثم صلى العصر حين كان ظلُّ كلِّ شيء مِثْلَيه. رواه الترمذي؛ ولقول صلى الله عليه وسلم: (ووقت العصر ما لم تَصْفَرَّ الشمسُ) رواه مسلم، وهذا محمول على الوقت المختار.

وقت صلاة المغرب

يبدأ وقت صلاة المغرب بغروب الشمس وتكامل غيابها، ويمتد وقتها حتى يغيب الشَّفَقُ الأحمر، ولا يبقى له أثر في جهة الغرب.

و(الشفق الأحمر): هو بقايا من آثار ضوء الشمس، يظهر في الأفق الشرقي عند وقت الغروب، ثم يمتد الظلام نحو الغروب شيئًا فشيئًا.

فإذا أطبق الظلام، وزال أثرُ الشفق الأحمر، فذلك يعني انتهاء وقت المغرب ودخول وقت العشاء.

دَلَّ على آخر وقت صلاة المغرب قولُ النبي صلى الله عليه وسلم في حديث المواقيت السابق: (ثم أخَّر المغرب حتى كان عند سقوط الشفق) -أي: عند غيابه- بالإضافة إلى قوله صلى الله عليه وسلم: (ووقت صلاة المغرب ما لم يغب الشفق) رواه مسلم.

وقت صلاة العشاء

يدخل وقت صلاة العشاء بانتهاء وقت المغرب، وهو من عَقِبِ تمام مغيب الشفق الأحمر، فلا يوجد فاصلٌ بين نهاية وقت المغرب وبداية وقت العشاء. ويمتدُّ وقتُ صلاة العشاء إلى طلوع الفجر الصادق. والمختارُ ألا تُؤخرَ صلاتها عن ثلث الليل الأول.

وقد دلَّ على وقت العشاء ابتداءً واختيارًا: ما جاء في حديث أبي موسى الأشعري السابق في بيان المواقيت.

ودلَّ على أن انتهاء وقت العشاء بدخول وقت الصبح، وهو طلوع الفجر الصادق، ما رواه الإمام مسلم في "صحيحه" عن أبي قتادة رضي الله تعالى عنه، أنه صلى الله عليه وسلم قال: (أما إنه ليس في النوم تفريط، إنما التفريط على من لم يصل الصلاة حتى يجيء وقت الصلاة الأخرى).

ففي هذا الحديث دليل على أن وقت الصلاة لا يخرج إلا بدخول وقت الصلاة التي تليها، وخرجت صلاة الصبح من هذا العموم.

وتأخير صلاة العشاء إلى آخر الوقت المختار، وهو ثُلُثُ الليل، أفضلُ إن سهُلَ، فإن شَقَّ على المأمومين، فالمستحبُّ تعجيلُها في أول وقتها دفعًا للمشقة.[1]

[1] إسلام ويب، أحاديث الأحكام، مقال منشور بعنوان: "مواقيت الصلاة"

كيفيةُ معرفة أوقات الصلاة

تُعرفُ أوقاتُ الصلوات المكتوبة بمراقبة حركة الشمس في السماء التي جعلها الشرع دليلاً على تلك الأوقات، وأعلم الناس بمواقيت الصلوات هم المؤذِّنون، والناس يعرفون دخول وقت الصلاة منهم؛ لأنهم مؤتمنون عليه، فعن أبي هريرة رضي الله تعالى عنه قال: قال رسول الله صلى الله عليه وسلم: (الإمام ضامن، والمؤذن مؤتمن، اللهم أرشد الأئمة، واغفر للمؤذنين) رواه أبو داود والترمذي.

وقد كان المسلمون الأوائل يعرفون أوقات الصلاة بالنظر إلى الظل في الظهر والعصر وبغروب الشمس في المغرب وبغياب الشفق الأحمر في العشاء وبطلوع الفجر الصادق في الفجر. وبناء على ذلك دُوِّنت مواقيتُ الصلاة في التقاويم وغيرها، وطُبعت وانتشرت، وانتشرت الساعات الإلكترونية الدقيقة، وشاعت في المساجد والبيوت، وظهرت برامج على الحاسب الآلي، وعلى الهواتف الذكية لتحديد مواقيت الصلاة بدقة متناهية، وتيسَّرت الأمور. فاعتمد الناس عليها مما أدى بالكثير منهم إلى الجهل بكيفية معرفة الأوقات بغير التقويم.

مواقيت الصلاة وعلم الفلك

يُعتبر علم الفلك أداة أساسية في ضبط مواقيت الصلاة، كما أن التقدم في استخدام الخوارزميات الرياضية أدى إلى دقة غير مسبوقة في تحديد مواقيت الصلاة. حيث تعتمد هذه المواقيت على حسابات دقيقة لحركة الشمس والظل. مما يساعد المسلمين حول العالم على أداء صلاتهم في أوقاتها الصحيحة. وعلى الرغم من بعض الاختلافات في تقدير مواقيت بعض الصلوات كالفجر والعشاء بين المدارس الفقهية المختلفة[1]، فإن الاعتماد على الحسابات الفلكية الحديثة يضمن دقة المواقيت ويؤدي إلى توافق أكبر بين الدول الإسلامية.

يتم تحديد مواقيت الصلاة باستخدام معادلات المثلثات الكروية التي تعتمد على موقع الشمس في وقت معين بالنسبة للموقع الجغرافي للراصد على سطح الكرة الأرضية. حيث تستند هذه الحسابات إلى الإحداثيات الجغرافية والفلكية لتحديد اللحظة التي تصل فيها الشمس إلى الزاوية المطلوبة لكل صلاة.

[1] الخلاف الأبرز يتعلق بدرجة انخفاض الشمس تحت الأفق عند الفجر والعشاء، حيث تتبنى بعض الدول الإسلامية زوايا مختلفة بحسب اجتهاداتها الفقهية والفلكية.

أساسيات رياضية

الرياضيات اللازمة في الفلك

الدراية بالفروع الرياضية الأساسية المطلوبة واللازمة في الحسابات الفلكية مثل التفاضل والتكامل، والهندسة ثلاثية الأبعاد، وحساب المثلثات الكروية، والتحليل العددي. لكن نطمئن القارئ أن الاستخدام العملي للمعادلات يعتمد غالبًا على إدخال الأرقام في معادلات جاهزة مثل تلك التي نقدمها في هذا الكتاب.

الدقة في الحسابات

ينبغي الحرص على الاحتفاظ بست خانات عشرية على الأقل في النتائج، وذلك لضمان دقة الحسابات الفلكية، لا سيما عند التعامل مع الزوايا الصغيرة أو الفروقات الزمنية الدقيقة. ويفضّل استعمال الآلات الحاسبة الرقمية المبرمجة سلفًا، والقادرة على تخزين القيم الوسيطة وتطبيق العمليات المتسلسلة. كما يُستحسن تقدير النتائج بشكل تقريبي مبدئي، قبل الشروع في العمليات الحسابية المطولة، للتحقق من معقولية النتيجة النهائية والكشف المبكر عن الأخطاء المحتملة.

الوحدات الرياضية الأساسية

وحدات قياس الوقت

الوقت T يُعد من الوحدات الأساسية في الحسابات الفلكية الدقيقة، ويُعبّر عنه غالبًا بصيغة (ساعة، دقيقة، ثانية). ويعتمد النظام الستيني.

1 hour = 60 minutes

1 minute = 60 seconds

1 hour = 3600 seconds

في كثير من الحسابات، نحتاج إلى التعبير عن الوقت كساعات عشرية بدلًا من الصيغة الستينية.

T =hours+(minutes/60)+(seconds/3600)

فإذا كان الوقت T بصيغة ستينية وأردنا تحويلة إلى ساعات عشرية

$12^h\ 55^m\ 36.123^s$

T = 12 + (55 / 60) + (36.123 / 3600)

=12 + 0.9166667 + 0.0100342

= 12.92670083^h

بينما لتحويل عدد عشري من الساعات إلى الصيغة الستينية

hours = 12^h

minutes = 0.92670083 * 60 = 55.6020498

minutes = 55^m

seconds = 0.6020498 * 60 = 36.123

seconds = 36.123^s

12^h 55^m 36.123^s

وحدات قياس المسافة

الوحدة الفلكية Astronomical Unit (AU) وهي المسافة المتوسطة بين الشمس والأرض. تُستخدم هذه الوحدة بشكل أساسي لقياس المسافات بين الكواكب والشمس.

1 AU = 149597870.7 km

نصف قطر الأرض Earth Radius (ER) وهو نصف القطر الاستوائي للأرض، ويُستخدم في الكثير من الحسابات الفلكية منها قياس المسافات القريبة من الأرض كمسافة القمر، والاجسام القريبة نسبيًا.

1 ER = 6378.137 km

السنة الضوئية Light-Year (ly) هي المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال سنة واحدة. تُستخدم لقياس المسافات بين النجوم والمجرات القريبة.

1 light-year = 9.46073047 * 10^{12} km

= 63241.077 AU

الفرسخ الفلكي Parsec (pc) هو وحدة قياس للمسافات الكبيرة بين النجوم، ويُعرف الفرسخ الفلكي بأنه المسافة التي يكون عندها اختلاف المنظر النجمي لجرم ما، مساوياً تمامًا لثانية قوسية واحدة. عندما يُقاس من نقطتين تفصل بينهما وحدة فلكية واحدة.

1 parsec = 3.26156 ly

≈ 206264.8 AU

≈ 3.0857 * 10^{13} km

وحدات قياس الزوايا

تُستخدم الزوايا لتحديد مواقع الأجرام السماوية ولقياس المسافات الزاويّة بينها. هناك ثلاث طرق شائعة للتعبير عن الزوايا.

النظام الستيني، وهو النظام التقليدي المستخدم منذ القدم، ويقسّم الزاوية إلى ثلاث وحدات.

```
1 degree (°) = 60 minutes (′)

1 minute (′) = 60 seconds (″)

1 degree = 3600 seconds
```

مثال: -

```
23° 26′ 18.91″
```

تعني: -

```
= 23 + (26 / 60) + (18.91 / 3600)

= 23.43858611 deg
```

الدرجات العشرية، ويُعبَّر عن الزاوية فيها باستخدام رقم عشري فقط بين °0 و °360. تُستخدم هذه الصيغة في البرمجة والحسابات الرقمية لسهولة التعامل الحسابي معها.

مثال: -

23.43858611°

لتحويلها إلى صيغة ستينية:

Degrees = 23

Minutes = 0.43858611*60=26.3151666

minutes = 26

Seconds = 0.3151666*60=18.91

Seconds = 18.91

23° 26′ 18.91″

الراديان، وهو وحدة قياس الزوايا في الرياضيات والفيزياء، ويُستخدم كثيرًا في المعادلات والدوال المثلثية.

```
Full circle = 2π radians ≈ 6.28318

180° = π radians ≈ 3.14159

90° = π / 2 radians ≈ 1.57080

1° = π / 180 radians ≈ 0.01745329

1′ = π / (180 * 60) radians

1″ = π / (180 * 3600) radians

π = pi = 3.14159265358979323846
```

الدوال الرياضية المهمة في الحسابات الفلكية

دالة التقريب إلى أقرب عدد صحيح أصغر (INT)

تُستخدم هذه الدالة لاستخراج الجزء الصحيح من الرقم، مع الإبقاء على الاتجاه نحو الأصغر دائمًا، ونحو السالب إن كان الكسر سالبًا.

```
INT(7 / 4) = INT(1.75) = 1
```

INT(21 / 5) = INT(4.2) = 4

INT(-25 / 11) = INT(-2.2727) = -3

دالة القيمة المطلقة (ABS)

تُستخدم لحذف الإشارة السالبة من الرقم، أي أنها تُرجع القيمة بدون علامة.

ABS|-3.5| = 3.5

ABS|2-5| = 3

دالة باقي القسمة (MOD)

تُستخدم لحصر القيم ضمن نطاق معين. في الفلك، تُستخدم لحصر الزوايا بين °0 و °360، أو في الوقت بين 0^h و24^h.

MOD(370°, 360°) = 10°

MOD(26h, 24h) = 2^h

MOD(-45°, 360°) = 315°

دالة الظل العكسي ATan(Y/X)

دالة الظل العكسي وتُكتب ATan أو tan^{-1} هي الدالة العكسية لدالة الظل Tan. تأخذ عددًا حقيقيًا للنسبة بين المركبتين Y/X، وتُرجع الزاوية Θ التي يكون ظلها يساوي هذا العدد.

الزاوية الناتجة Θ تكون دائمًا في الربع الأول أو الرابع فقط، أي أن الدالة تفترض أن المتجه يقع في الربع الأول أو الرابع فقط، ولا تميز بين الأرباع الأخرى. ولمعالجة ذلك يجب تصحيح الزاوية Θ يدويًا حسب إشارات X و Y لتحديد الربع الصحيح.

```
IF: Y > 0 & x > 0  →  Θ = Θ
IF: Y > 0 & x < 0  →  Θ = Θ + 180
IF: Y < 0 & x < 0  →  Θ = Θ + 180
IF: Y < 0 & x > 0  →  Θ = Θ + 360
```

تعتبر دالة الظل العكسي أداة أساسية لحساب الزوايا الموجهة والاتجاهات النسبية، وهي حجر أساس في معظم الحسابات الفلكية والهندسية ذات البعدين.

التحويل بين الزمن والزوايا

تُستخدم العلاقة بين الزمن والزوايا لأن الكرة الأرضية تدور $360°$ في 24^h ساعة، أي $15°$ في كل ساعة.

من الزمن إلى الزاوية:

```
Degrees = Hours * 15
```

$2^h * 15 = 30°$

من الزاوية إلى الزمن:

```
Hours = Degrees / 15
```

$30° / 15 = 2^h$

إشارات دوائر العرض وخطوط الطول

في الحسابات الفلكية والجغرافية، تُعطى الإحداثيات الجغرافية إشارات محددة بحسب موقع النقطة على سطح الأرض. فدوائر العرض Latitude تُؤخذ موجبة إذا كانت شمال خط الاستواء، وتُؤخذ سالبة إذا كانت جنوبه. أما خطوط الطول Longitude فتُؤخذ موجبة إذا كانت شرق خط غرينتش، وسالبة إذا كانت غربه.

الحركة الظاهرية للشمس

تُشكّل الشمس بحركتها الظاهرية في السماء أساسًا لتقسيم الوقت، وتحديد الفصول، وتنظيم حياة الإنسان اليومية منذ فجر التاريخ. وعلى الرغم من أن الشمس، في الحقيقة، ثابتة بالنسبة لمركز المجموعة الشمسية، فإن الأرض هي التي تدور حولها وتدور حول نفسها، إلا أن الراصد من سطح الأرض يرى الشمس وكأنها هي التي تتحرك في السماء من الشرق إلى الغرب بحركة يومية، ومن موقع إلى آخر بين النجوم على مدار السنة[1]. هذه الظاهرة تُعرف بالحركة الظاهرية للشمس.

تعتمد هذه الحركة الظاهرية السنوية على خاصية فلكية أساسية في الأرض، وهي ميل محور دورانها. فالأرض تدور حول محورها المائل بزاوية تقدر بحوالي 23.44 درجة بالنسبة إلى مستوى دورانها حول الشمس، والمعروف باسم المستوى الكسوفي Ecliptic Plane. هذا الميل هو السبب الرئيسي في اختلاف ارتفاع الشمس في السماء خلال السنة، وهو أيضًا الذي يُحدث تعاقب الفصول الأربعة، وتغيّر طول النهار والليل، ونقاط شروق الشمس وغروبها.

[1] تُعرف هذه الظاهرة بـ"الحركة اليومية للشمس" بسبب دوران الأرض حول محورها، أما حركتها بين النجوم فهي "الحركة السنوية"، الناتجة عن دوران الأرض حول الشمس.

على مدار السنة، يبدو للراصد من الأرض أن الشمس تتحرك صعودًا ونزولًا على خلفية السماء. ففي الانقلاب الصيفي (حوالي 21 يونيو)، تبلغ الشمس أقصى ميل شمالي لها (+23.436°)، حيث تتعامد على مدار السرطان[1]، وتكون الشمس في أعلى نقطة لها في السماء بالنسبة للراصد في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. ثم تبدأ الشمس في التراجع جنوبًا، حتى تصل إلى الاعتدال الخريفي (23 سبتمبر تقريبًا)، عندما يكون ميلها صفرًا، أي متعامدة على خط الاستواء. وبعد ذلك، تستمر في الاتجاه جنوبًا حتى تصل إلى الانقلاب الشتوي (21 ديسمبر تقريبًا)، حيث يكون الميل (−23.437°)، أي تتعامد الشمس على مدار الجدي. ثم تعود شمالًا من جديد، وتمر بالاعتدال الربيعي (حوالي 20 مارس)، وتكمل دورتها السنوية.

تبعًا لذلك يتغير طول النهار والليل. فعندما يكون الميل موجبًا (بين الاعتدال الربيعي والانقلاب الصيفي)، تطول ساعات النهار في النصف الشمالي. وعندما يكون سالبًا (من الاعتدال الخريفي إلى الانقلاب الشتوي)، يطول الليل ويقصر النهار.

[1] مدار السرطان يقع عند دائرة عرض 23.436 شمال خط الاستواء، وهو أقصى حد تتعامد فيه أشعة الشمس شمالًا. والمدار الجنوبي المقابل له هو مدار الجدي (23.437 جنوبًا)

تُسبب هذه التغيرات في ارتفاع الشمس خلال السنة، تغيرًا واضحًا في طول الظل واتجاهه، ويُلاحظ ذلك بسهولة عند الراصد في موقع جغرافي ثابت[1]. فعلى سبيل المثال، إذا نظرنا من موقع في دولة الكويت (خط عرض °29.25 شمالًا)، فإن الشمس عند الزوال في يوم الانقلاب الصيفي تكون أقرب ما يكون إلى سمت الرأس[2]، بينما في الانقلاب الشتوي تكون قريبة من الأفق الجنوبي، ويبلغ الفرق في الارتفاع بين الحالتين حوالي 47 درجة، وهو ضعف زاوية الميل المحوري للكرة الأرضية.

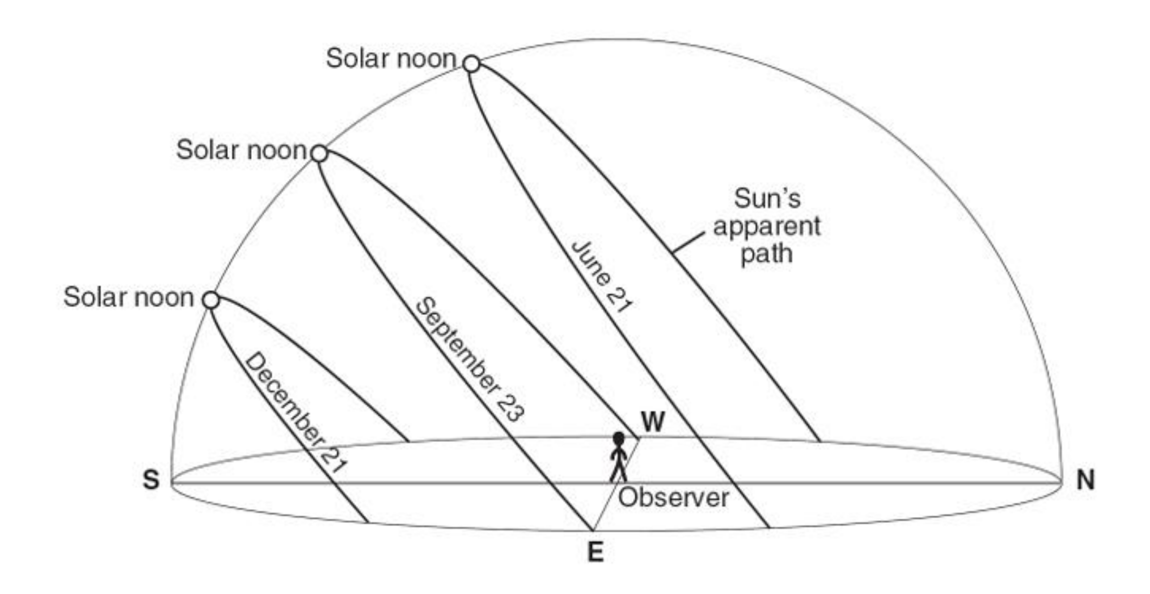
كذلك، يتغير اتجاه نقطة شروق وغروب الشمس يوميًا. فهي لا تشرق دومًا من الشرق الحقيقي، ولا تغرب عند الغرب الحقيقي. ففي الصيف، تميل الشمس نحو الشمال الشرقي عند شروقها والشمال الغربي عند غروبها، أما في الشتاء، فإنها تميل إلى الجنوب الشرقي والجنوب الغربي على التوالي. وهذا التغير ينتج عنه تغير كبير في طول النهار والليل، فتمتد ساعات النهار في الصيف، وتقصر في الشتاء، والعكس صحيح بالنسبة لطول الليل.

[1] يمكن ملاحظة ذلك بسهولة باستخدام عصا رأسية ثابتة (مثل المزولة) حيث يتغير طول الظل بشكل يومي، ويكون أقصر ظل عند الانقلاب الصيفي، وأطوله في الانقلاب الشتوي.

[2] سمت الرأس (Zenith) هو النقطة التي تقع عموديًا فوق رأس الراصد تمامًا. ولا تتعامد الشمس مع الراصد في الكويت، لكنها تقترب من السمت خلال الانقلاب الصيفي.

بالتالي، فإن تغير قيمة درجة ميل الشمس خلال السنة يعتبر حجر الأساس في فهم طبيعة حركة الشمس في السماء خلال السنة، وفهم سبب اختلاف الفصول، ودرجات الحرارة، وأطوال الظلال وقت الظهر، وطول ساعات النهار والليل، واختلاف المواقيت والمطالع.

وهو أساس عملنا في حساب مواقيت الصلاة، وتحديد وقت القبلة باستخدام الشمس، ووضع التقاويم القمرية والشمسية، وتعيين مواقيت الشعائر الدينية التي تعتمد على رصد وتتبع حركة الشمس في مواقعها المحددة، والتي تتغير تبعًا لموضع الشمس في السماء.



حساب الوقت

يعتبر حساب الوقت من أقدم فروع علم الفلك التي اهتم بها الإنسان، إذ شكّل القمر والشمس والنجوم وسيلة الإنسان الأولى لفهم الزمن وتنظيم حياته اليومية والعملية والدينية. وحتى وقت قريب، لم يكن هناك أي نظام أرضي لحساب الزمن يمكنه مجاراة دقة الحسابات الفلكية المستمدة من رصد الشمس والكواكب. فجميع وحدات الزمن التي تبدو طبيعية بالنسبة للإنسان تستند أساسًا إلى الظواهر الفلكية[1]، فالسنة تعكس دورة الأرض حول الشمس وما ينجم عنها من تعاقب الفصول، والشهر نابع من حركة القمر حول الأرض وما يرافقها من تغيرات في أطواره، أما اليوم فهو ثمرة دوران الأرض حول محورها وما يترتب عليه من تعاقب الليل والنهار.

ومع ذلك، عند الحاجة إلى دقة عالية في القياس، تظهر صعوبات في تعريف وحدات الزمن بدقة مطلقة. من بين هذه الصعوبات مسألة تحديد بداية ونهاية كل دورة فلكية، فمتى نعتبر أن الأرض أكملت دورة كاملة، وما المرجع المستخدم[2]، كما أن العديد من الظواهر الفلكية التي

[1] تُعرف هذه الوحدات باسم "الوحدات الزمنية الفلكية" مثل السنة الشمسية، الشهر القمري، واليوم النجمي أو الشمسي، وهي مستمدة من الظواهر الحقيقية لحركات الأجرام السماوية.

[2] في علم الفلك، يُستخدم مفهوم الاعتدالين كمرجع لحساب السنة المدارية، لكن بسبب التبدّل البطيء لموقع الاعتدال (حركة السبق)، تظهر فروقات بين السنة الفلكية والمدنية.

كنا نعتقد بثباتها اتضح أنها غير منتظمة، فدوران الأرض يتباطأ تدريجيًا، وحركة القمر تتأثر بعوامل عدة، وهذا ما يُسبب انحرافات زمنية تراكمية على المدى الطويل[1].

إحدى المشكلات المعروفة منذ العصور القديمة هي أن وحدات الزمن الأساسية ليست متوافقة عددياً، فلا يمكن التعبير عن السنة بعدد صحيح من الشهور أو الأيام، ولا يحتوي الشهر القمري على عدد صحيح من الأيام. فعلى سبيل المثال، يبلغ طول السنة الشمسية نحو 365.2422 يومًا، والشهر القمري نحو 29.5306 يومًا، ما يجعل المواءمة بين هذه الوحدات تحديًا دائمًا.

وللتعامل مع هذه الإشكالات، ابتكر الإنسان عددًا كبيرًا من أنظمة الوقت، كلٌ منها يحاول المواءمة بين حركة الظواهر الفلكية الحقيقية، ومتطلبات الحياة اليومية للإنسان. ومن هذه الأنظمة ما هو فلكي بحت، يُستخدم في حساب المواقع السماوية بدقة، ومنها ما هو مدني يُستخدم لتنظيم الوقت في المجتمعات.

[1] من أسباب هذه الانحرافات تأثيرات المد والجزر الناتجة عن القمر والشمس، والتي تسحب تدريجيًا على دوران الأرض، وكذلك التأثيرات النسبية بين الأرض والقمر.

الوقت الشمسي

الوقت الشمسي هو الزمن الذي يعتمد على الحركة الظاهرة للشمس حول الأرض. فاليوم الشمسي يُعرَّف بأنه الفترة الزمنية بين مرورين متتاليين للشمس على خط الزوال المحلي، وتعادل هذه الفترة 24 ساعة تقريبًا، وبطبيعة الحال فإن هذه الحركة الظاهرية للشمس ليست إلا انعكاسًا لدوران الأرض حول محورها. ولأن الأرض في أثناء دورانها حول نفسها تتحرك قليلاً أيضًا في مدارها حول الشمس، فإنها تحتاج إلى أكثر من دورة كاملة بالنسبة للنجوم كي تعود الشمس إلى نفس الموضع في السماء. ولهذا السبب فإن اليوم الشمسي الحقيقي أطول بحوالي 4 دقائق من اليوم النجمي. يُقاس الوقت الشمسي الحقيقي True Solar Time (TST) على شكل زاوية ساعية H، يكون عبور الشمس على خط الزوال يوافق الساعة 12:00 ظهرًا، وقد كانت المزولة الشمسية الوسيلة التقليدية في معرفة الزمن الشمسي الحقيقي، حيث كانت تُظهر موقع الشمس في السماء لحظةً بلحظة من خلال الظلال التي تلقيها. إن طول اليوم الشمسي الحقيقي ليس ثابتًا على مدار السنة، والسبب في ذلك يرجع إلى عاملين فلكيين، العامل الأول يتمثل

في إهليلجية مدار الأرض فمدار الأرض حول الشمس ليس دائريًا تمامًا[1]، أما الآخر فهو ميل محور دوران الأرض، وهذا ما يسبب الفرق بين الوقت الشمسي الحقيقي والوقت النجمي.

لحل هذه المشكلة، افترض الفلكيون في القرن السابع عشر الميلادي شمسًا أطلقوا عليها اسم الشمس المتوسطة، وهي شمس تخيلية، تتحرك هذه الشمس المتوسطة بسرعة ثابتة على خط الاستواء السماوي، فهي بمثابة إسقاط نظري على خط الاستواء السماوي، وتُستخدم لتحديد الوقت الشمسي المتوسط Mean Solar Time (MST)، وهو الزمن الذي نستخدمه في الساعات والتقاويم المدنية. الفرق بين الوقت الشمسي الحقيقي والوقت الشمسي المتوسط يُسمّى معادلة الوقت Eq التي تتغير خلال السنة نتيجة تداخل العاملين السابقين[2].

[1] مدار الأرض حول الشمس إهليلجي (بيضاوي) بانحراف مركزي($e \approx 0.0167$) ، مما يجعل سرعة الأرض في المدار تتغير، وفقًا لقانون كبلر الثاني، فيؤثر ذلك على التوقيت الظاهري للشمس.

[2] معادلة الوقت (Eq) تُحسب كفرق زمني (بالدقائق) يُضاف أو يُطرح من الوقت الشمسي المتوسط للحصول على الوقت الشمسي الحقيقي، وتصل قيمتها القصوى إلى ±16 دقيقة تقريبًا في بعض أيام السنة.

توقيت غرينتش المتوسط

يعتبر توقيت غرينتش المتوسط Greenwich Mean Time (GMT) المرجع العالمي القديم لحساب الوقت المتوسط، فابتداءً من عام 1925، أصبح التوقيت المعروف باسم GMT يُقاس من خط الزوال السفلي لغرينتش، أي من منتصف الليل المدني 00:00 بدلًا من منتصف النهار 12:00 ظهرًا كما كان الحال في الحسابات الفلكية السابقة[1]. ونتيجة لعدم انتظام حركة دوران الأرض، فإن وقت العبور الزوالي للشمس المتوسطة يتغير قليلًا خلال السنة فيتقدم أحيانًا عن الساعة 12:00، ويتأخر عنها في أحيان أخرى، ولهذا سُمّي توقيتًا متوسطًا، أي أنه لا يمثل وقت العبور الحقيقي بل متوسطة السنوي. هذا الاختلاف مرتبط كما ذكرنا بمعادلة الوقت Eq، وهي مقدار الفرق بين الوقت الشمسي الحقيقي والمتوسط.

وقد اتضح أنه من غير العملي استخدام توقيت غرينتش المتوسط GMT كنظام موحّد لكل دول العالم، لأن لحظة الزوال الشمسي تختلف من منطقة لأخرى بحسب الموقع الجغرافي. لذلك تم تقسيم

[1] قبل 1925، كان يُحسب اليوم الفلكي ابتداءً من منتصف النهار (12:00) لأن الراصدين الفلكيين كانوا يبدأون تسجيلاتهم من وقت عبور الشمس للزوال، وهو بداية "يوم الرصد". لكن لأسباب عملية وإدارية، نُقل التوقيت إلى منتصف الليل ليتوافق مع اليوم المدني.

العالم إلى مناطق زمنية بناءً على خطوط الطول، بحيث تكون كل منطقة متقدمة أو متأخرة عن GMT بعدد صحيح من الساعات (±)[1]، وغالبًا ما يتم تعيين كل منطقة بقدر 15 درجة من خطوط الطول، لتكون فرقًا مقداره ساعة واحدة عن المنطقة المجاورة، لكن بعض الدول، تعتمد مواقيت خاصة بها مثل فروقات نصف ساعة أو اعتماد التوقيت الصيفي[2]، وقد كان GMT مفيدًا في زمن القطارات والسفن قديمًا، لكنه لم يعد كذلك مع متطلبات الأساليب والسياقات التقنية الحديثة، فلم يعد شائع الاستخدام في عصرنا الحالي.

[1] كل منطقة زمنية تُغطي عادةً 15 درجة طولية، لأن دوران الأرض 360 درجة خلال 24 ساعة يعني أن كل 15 درجة تقابل ساعة زمنية. ومع ذلك، هناك دول تتبنى فروقات غير منتظمة لأسباب سياسية أو جغرافية.

[2] من الأمثلة على فروقات النصف ساعة: الهند (+5:30) ، وإيران (+3:30). أما التوقيت الصيفي فهو تقديم الوقت ساعة واحدة خلال أشهر الصيف لتوفير الطاقة، وهو لا يُستخدم في جميع الدول.

الوقت الذري الدولي

مع تطوّر العلم، لم يعد يكفينا توقيت مرتبط بموقع جغرافي واحد مثل غرينتش. حيث تزايدت متطلباتنا، لتجعلنا بحاجة إلى شيء ثابت لحساب الوقت، شيء يمكننا الوثوق به على مدى قرون من الزمن، لا يعتمد على دوران الأرض المتغير. من هنا وُلدت فكرة الساعة الذرية، باستخدام ذرات السيزيوم-133 كمذبذب دقيق جدًا. حيث تُعرّف الثانية على أساس عدد اهتزازات هذه الذرة، ولك أن تتصور دقة هذه الساعة إذا علمت بأنها تخطئ بمقدار ثانية واحدة كل 1.4 مليون سنة. وهكذا حصلنا على International Atomic Time (TAI) الوقت الذري الدولي. لكن مشكلة حساب الوقت لا تنتهي هنا، بل تعود من جديد وتظهر مع حقيقة عدم انتظام حركة الأرض، الأمر الذي يمنع توافقها مع الزمن الذري الدولي TAI. فالكرة الأرضية غالبًا ما تتباطأ تدريجيًا في دورانها المحوري، بسبب الاحتكاك الناتج عن ظاهرتي المد والجزر، وتأثير جذب القمر، والزلازل والبراكين، وغيرها من الظواهر. التي تؤدي إلى تغيرات بسيطة في سرعة الدوران، لكنها تُعتبر تغيرات حقيقية في طول اليوم. فلو اعتمدنا فقط على الوقت الذري الدولي TAI، فإن التوقيت لن يتوافق مع طبيعة الحركة الأرضية، ولن يعود مناسبًا للحياة اليومية التي تعتمد على تعاقب الليل والنهار.

التوقيت العالمي المنسق

في عام 1972، تم اعتماد حل وسط يجمع بين دقة الساعات الذرية والواقع الفلكي لدوران الأرض، وهو ما عُرف باسم التوقيت العالمي المنسق Coordinated Universal Time (UTC). وقد أصبح هذا النظام هو الأساس المعتمد عالميًا للتوقيت المدني، ويُعد اليوم البديل الرسمي لتوقيت غرينتش المتوسط GMT.

ويعتمد UTC على الوقت الذري الدولي TAI في قياس الزمن بدقة عالية، لكنه يُعدّل دوريًا من خلال إضافة ثوانٍ كبيسة أو (نادرًا) بحذفها، وذلك بهدف المحافظة على توافقه مع التوقيت العالمي UT، الذي يُمثل دوران الأرض الفعلي حول محورها نسبةً إلى الأجرام السماوية. يشترك التوقيت العالمي المنسق UTC مع التوقيت العالمي UT في أن كلاهما يُستخدم كمقاييس زمنية عالمية، ويُعبّران عن الوقت الحالي بالنسبة للأرض، وأن كلاهما مرتبط بتحديد الزمن المدني، الذي نستخدمه في حياتنا اليومية. لكن الاختلاف يكمن في مصدر وطبيعة كل منهما. فالتوقيت العالمي UT مبني على دوران الأرض حول محورها، وبالتالي يتغير بسبب تغير سرعة دوران الأرض، بينما التوقيت العالمي المنسق UTC مبني على الساعة الذرية الدقيقة TAI، لكننا نُجري عليه

تعديلات كل فترة بإضافة أو حذف ثانية كبيسة، حتى لا يبتعد كثيرًا عن التوقيت العالمي UT، ويكون موائمًا في استخدامه كمرجع رسمي للوقت المدني في العالم (الذي تسير عليه الساعات والهاتف والإنترنت)، ونخلص إلى أن UT هو الزمن الطبيعي الذي تخبرنا به الأرض، بينما UTC هو الزمن الرسمي الذي تخبرنا به الساعة الذرية مع التعديلات التصحيحية المضافة.

عندما أُنشئ UTC عام 1972، كان الفرق الابتدائي بينه وبين TAI بمقدار 10 ثوان، ثم أُضيفت عبر السنين اللاحقة ثوانٍ كبيسة إضافية كلما دعت الحاجة إلى ذلك، حتى ديسمبر 2016، كان قد تم إضافة 27 ثانية كبيسة منذ 1972، ومع الفرق الابتدائي (10 ثوانٍ)، يصبح المجموع 37 ثانية زمنية، وكلما أُضيفت ثانية كبيسة جديدة، يزداد هذا الفرق بثانية واحدة. الهدف من هذه العملية هو بقاء فرق التوقيت بين UTC و UT ضمن ±0.9 ثانية، والذي يسمى ΔUT_1، حتى لا يبتعد الوقت المدني عن الواقع الفلكي المتمثل في دوران الأرض.

قد تصادف أحيانًا تصنيفات أخرى للتوقيت العالمي UT مثل UT_0 أو UT_1 أو UT_2، فهي طرق مختلفة لتمثيل التوقيت العالمي UT استنادا إلى بعض التصحيحات المضافة، مثل تأثير حركة القطب الأرضي، ويبقى

UT_1 الصيغة القياسية الدقيقة من UT، الذي يُستخدم في علم الفلك والأنظمة التي تحتاج لمحاكاة دوران الأرض الفعلي لحظة بلحظة. فعندما ترى في الكتب الفلكية UT، فالمقصود غالبًا UT_1.

لو افترضنا أنه في لحظة معينة:

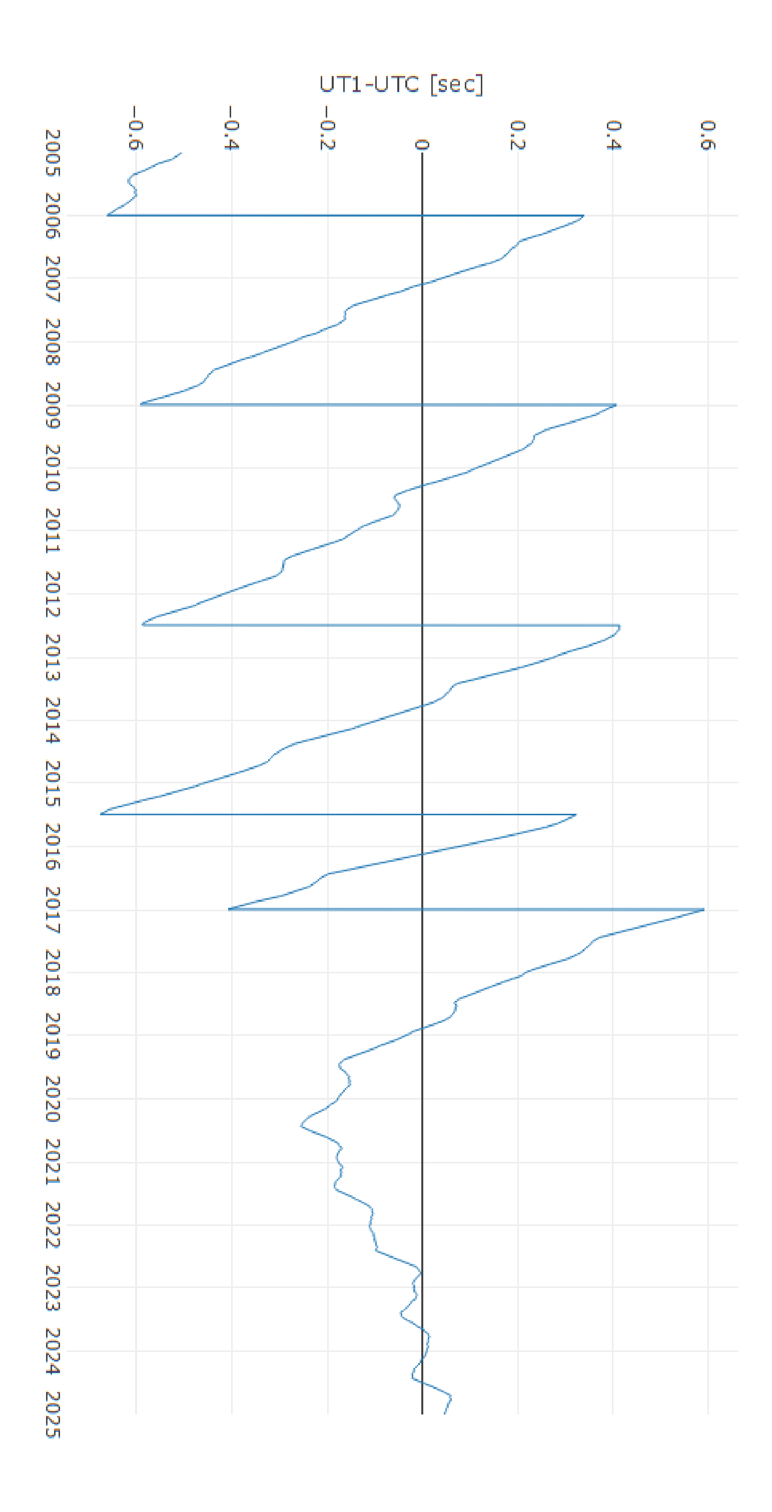
TAI = 12:00:00

UTC = 11:59:23 بعد طرح 37 ثانية بسبب الثواني الكبيسة

$UT_1 \approx 11:59:22.5$ أقرب للدوران الحقيقي للأرض

$UTC - UT_1 = 0.5^s$

إذا اقترب ΔUT_1 من ±0.9 ثانية، تُضاف ثانية كبيسة إلى UTC ليبقى متزامنًا تقريبًا مع UT_1. تصدر خدمة دوران الأرض الدولية (IERS) نشرة ΔUT_1 بصورة دورية، وتُحدد بها هذا الفرق. أما الجهة المسؤولة عن الوقت الذري الدولي TAI، وإصدار البيانات المتعلقة بـ UTC والثواني الكبيسة، فهي المكتب الدولي للأوزان والمقاييس (BIPM).


UT1-UTC [sec]
−0.6
−0.4
−0.2
0
0.2
0.4
0.6
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025

التوقيت الأرضي النظري

في الحسابات الفلكية الدقيقة يُستخدم التوقيت الأرضي أو التوقيت الأرضي النظري (Terrestrial Time (TT، وهو مقياس زمني نظري منتظم بشكل مثالي، لا يعتمد على دوران الأرض، ويُستخدم في أعمال فلكية حسابية دقيقة مثل تحديد مواقع الشمس والقمر والكواكب، وحسابات الخسوف والكسوف، ووضع الأزياج والجداول الفلكية. جاء التوقيت الأرضي النظري TT سنة 1984 بقرار من الاتحاد الفلكي الدولي (IAU)، ويعتبر امتدادًا حديثًا للتوقيت الفلكي (Ephemeris Time (ET، وهو زمن منتظم نظري كان يُحسب باستخدام قوانين الحركة السماوية (كبلر، نيوتن) لتعويض مشاكل UT (دوران الأرض المتغير). استُخدم بين عامي 1952 و1984، وكذلك لتوقيت آخر لحقه يسمى التوقيت الديناميكي (Dynamical Time (TD، وهو إعادة تعريف ET بصياغة ديناميكية أوسع تشمل حركة القمر والكواكب إلى جانب الشمس. حيث جاء في 1976 كتوسيع لفكرة ET، وهي أنظمة كانت تُستخدم قبل TAI. ويُعرّف التوقيت الأرضي النظري TT بناءً على التوقيت الذري TAI، لكن مع إضافة ثابت مقداره 32.184 ثانية زمنية، لتعويض الفرق التاريخي بين التوقيتين ET وTAI. أي أن التوقيت الأرضي TT

متقدم دائمًا بمقدار ثابت على التوقيت الذري TAI. فعندما تم إدخال التوقيت الذري TAI رسميًا، أراد الفلكيون ضبط التوقيت الأرضي النظري TT بحيث يتطابق تمامًا مع التوقيت الفلكي ET، وذلك عند لحظة الانتقال 1 يناير 1977 الساعة 00:00 TT، ولأن TAI كان متأخرًا عن ET بمقدار 32.184 ثانية، قرر الاتحاد الفلكي الدولي (IAU) بأن: -

$$TT = TAI + 32.184^{s}$$

أي أنه وريث التوقيت الفلكي ET، ولكنه مضبوط على الأساس الذري TAI.

الفرق Delta T

نصل أخيرًا إلى الهدف الحقيقي من كل ما سبق شرحه، وهو ما يعرف باسم (ΔT) Delta T، وهو فرق الوقت بين التوقيت الأرضي TT الذي يمثل توقيتًا نظريًا ثابتًا تمامًا، وبين التوقيت العالمي UT الذي يمثل توقيتًا واقعيًا يعتمد على دوران الأرض الحقيقي المتغير.

$$\Delta T = TT - UT$$

بمعنى أن ΔT يقيس كم تأخرت أو تقدمت الأرض في دورانها مقارنة بالتوقيت النظري المنتظم، ويُستخدم لتعديل مواقيت الظواهر الفلكية، ولحسابها وضع الفلكيون مجموعة من المعادلات لكل حقبة زمنية[1].

من 2005 إلى 2050:

$$\Delta T = 62.92 + 0.32217 * (Y-2000) + 0.005589 * (Y-2000)^2$$

[1] أشهر المعادلات لتقدير ΔT وضعها الفلكي Morrison & Stephenson، وتُستخدم تقريبًا لمئات السنين الماضية والمستقبلية، وتُحدّث باستمرار بناءً على الأرصاد الحديثة لحركة الأرض.

من 2050 **إلى** 2150:

$$\Delta T = -20+32*((Y-1820)/100)^2 -0.5628*(2150-Y)$$

بعد 2150:

$$\Delta T = -20+32*((Y-1820) / 100)^2$$

حيت Y تمثل السنة التي تريد حساب قيمة ΔT لها، ويمكن أن تكون عددًا عشريًا في حال كان الحساب لشهر M محدد من السنة.

$$Y = Y + (M - 0.5)/12$$

مثال: - احسب قيمة ΔT **لشهر يوليو من سنة** 2025

$$Y = Y + (M - 0.5)/12$$

$$Y = 2025 + (7 - 0.5)/12$$

$$Y = 2025.542$$

$$\Delta T = 62.92 + 0.32217*(Y-2000) + 0.005589*(Y-2000)^2$$

$$\Delta T = 62.92+0.32217*(2025.542-2000) + 0.005589*(2025.542-2000)^2$$

$$\Delta T = 62.92 + 8.2288 + 3.6462$$

$$\Delta T = 74.8^s$$

فإذا كان لديك التوقيت العالمي UT، وتعرف قيمة ΔT (الفرق بين الزمن النظري والزمن الأرضي)، يمكنك بسهولة حساب TT (الزمن النظري المنتظم المستخدم في الحسابات الفلكية).

```
TT = UT + ΔT
```

وهذا هو التوقيت الذي يُستخدم بوصفه المقياس الزمني المرجعي في الحسابات الفلكية الدقيقة، التي تتطلب انضباطًا عاليًا في قياس الوقت. من مثل تحديد مواقع الأجرام السماوية كالقمر، والشمس، والكواكب، بدقة تصل إلى أجزاء من الثانية القوسية. وتعتمد النماذج الفلكية الحديثة، مثل نموذج VSOP الذي يعتبر أحد أدق النماذج الرياضية المستخدمة في حساب حركة الكواكب حول الشمس في علم الفلك، وذلك خلال فترات زمنية طويلة تمتد لآلاف السنين، إذ يعتمد على هذا التوقيت تحديدًا، لأنه يوفر تسلسلًا زمنيًا منتظمًا غير متأثر بتذبذبات دوران الأرض. فعند حساب الموقع الظاهري لأي جرم سماوي بالنسبة إلى الأرض، لا بد من إدخال قيم دقيقة للزمن ضمن المعادلات الحركية المدارية. ولو استُخدم الزمن العالمي UT بدلًا من TT، فإن النتائج ستتأثر سلبًا بسبب عدم انتظام UT على المدى الطويل، مما يسبب انحرافات في المواضع المحسوبة.

دوران الأرض (Earth Rotation)

↓

UT_1	←	التوقيت الفلكي الحقيقي

$(TT - UT_1)$ ΔT — متغير ~69 ثانية في 2025

↓

TT	←	التوقيت الأرضي (للحسابات الفلكية)

↑

ثابت $+32.184^s$

TAI	←	التوقيت الذري الدولي (أساس دقيق)

كبيسة حتى الآن -37^s

↓

UTC	←	التوقيت العالمي المنسق (المعمول به عالميًا)

التوقيت	المعنى	الاعتماد / المعيار	الملاحظات
TAI	الزمن الذري الدولي	ساعة ذرية السيزيوم 133	المرجع الأساسي لأنظمة الوقت الحديثة، منتظم وذري
UTC	التوقيت العالمي المنسق	ثوان كبيسة + TAI	الأساس المدني للتوقيت العالمي، يُعدل لمزامنة دوران الأرض UT_1
GMT	توقيت غرينتش	مرور الشمس المتوسط خط الزوال لغرينتش	تاريخيًا توقيت شمسي، لم يعد يُستخدم فلكيًا، أحيانًا يُستعمل كمرادف شعبي لـ UTC
UT_1	التوقيت العالمي	دوران الأرض الحقيقي	يُقاس فلكيًا عبر المراصد، الأساس الفلكي الدقيق لدوران الأرض
TT	التوقيت الأرضي النظري	$TAI + 32.184^s$	مقياس زمني نظري منتظم، يُستخدم في الحسابات الفلكية، حل محل ET وTD
ET	التوقيت الفلكي	يُحسب من قوانين الحركة السماوية (كبلر، نيوتن)	نظري منتظم، أُهمل بعد 1984 لصالح TT
TD	التوقيت الديناميكي	إعادة تعريف ET بمرجعية ديناميكية تشمل القمر والكواكب	نظري منتظم، مصطلح انتقالي بين ET وTT، أُهمل لصالح TT
ΔT	فرق التوقيت	الفرق بين TT وUT_1	يستخدم في الحسابات الفلكية لضبط الفرق بين الزمن الذري ودوران الأرض
TST	الوقت الشمسي الحقيقي	موقع الشمس الحقيقي في السماء (دوران الأرض الظاهري)	يُحسب لحظيًا بناءً على موقع الشمس، متغير يوميًا
MST	الوقت الشمسي المتوسط	موقع الشمس المتوسط في السماء (دوران الأرض المتوسط)	المرجع القديم للتقويمات الزمنية، يُستخدم في الحسابات الزمنية التقليدية

الحقبة الزمنية

في الرياضيات الفلكية، الحقبة أو العصر المرجعي هو لحظة في مقياس الزمن تُستخدم كنقطة مرجعية لبعض الكميات الفلكية المتغيرة مع الزمن حيث يتم اعتبراها الزمن الصفري لتلك الكميات. وهي مفيدة لإحداثيات الأجرام السماوية أو عناصرها المدارية، والتي تخضع للاضطرابات المدارية المستمرة. فتتغير مع مرور الزمن. والاستخدام الرئيسي للكميات الفلكية المحددة بهذه الطريقة هو حساب حدود الحركات الأخرى ذات الصلة، من أجل التنبؤ بمواضع الأجرام السماوية في أوقات أخرى معينة.

ويُعد اليوم اليولياني Julian Day (JD) مقياسًا زمنيًا فلكيًا يعتمد على عدّ الأيام الكسرية المتعاقبة منذ لحظة مرجعية ثابتة، وهي الساعة الثانية عشرة ظهرًا بتوقيت غرينتش UT من يوم 1 يناير عام 4713 قبل الميلاد، بحسب التقويم اليولياني. يتميز هذا النظام الزمني ببساطته ودقته، ويُستخدم في الحسابات الفلكية لأنه يوفّر تمثيلًا خطيًا للزمن يتجنّب تعقيدات التقويمات البشرية مثل السنوات الكبيسة وتفاوت أطوال الشهور[1].

[1] في التقويم الميلادي، تختلف أطوال الشهور والسنوات بسبب إضافة أيام كبيسة، مما يجعل الحسابات الزمنية المعتمدة عليه معقدة برمجياً. أما JD فيُعامل الزمن كعدد كسري مستمر، ما يسهّل العمليات الحسابية الفلكية.

تُحسب قيمة JD اعتمادًا على التوقيت العالمي UT أو على التوقيت الأرضي النظري TT عند الحاجة إلى دقة أعلى، خاصة في الحسابات المدارية.

ويتفرع اليوم اليولياني إلى عدة صِيَغ متخصصة، من أشهرها اليوم اليولياني المعدّل (MJD) Modified Julian Day، ويُعرّف بأنه عدد الأيام الكسرية المنقضية منذ منتصف الليل 00:00 UT من يوم 17 نوفمبر 1858، ويُحسب باستخدام الصيغة: -

MJD = JD − 2400000.5

وقد أصبح هذا النظام معتمدًا في العديد من التطبيقات الفلكية والبرمجية والعلمية، نظرًا لبساطته وانسجامه مع بداية اليوم المدني 00:00 UT، على عكس اليوم اليولياني القياسي الذي يبدأ من الظهر.

ومن صِيَغه الأخرى كذلك $J_{2000.0}$ الذي يُعد مرجعًا زمنيًا وفلكيًا قياسيًا عالميًا، يُستخدم كنقطة انطلاق لجميع الحسابات الفلكية الحديثة المتعلقة بحركة الأجرام السماوية. ويرمز J إلى Julian epoch، بمعني الحقبة اليوليانية، بينما يشير الرقم 2000.0 إلى السنة الفلكية 2000.0 بحسب نظام الأيام اليوليانية.

ويُعرّف J2000.0 بأنه 1 يناير 2000 في الساعة 12:00 ظهرًا بالتوقيت العالمي UT، ويقابل اليوم اليولياني 2451545.0، وعليه تُحسب عدد الأيام المنقضية منذ $J_{2000.0}$ لأي يوم آخر على النحو التالي: -

$$J_{2000.0} = JD - 2451545.0$$

$J_{2000.0}$ ليوم 1 يناير 2000 الساعة 00:00 UT = -0.5 يوم

ويمثل هذا العصر اللحظة المرجعية التي تُحسب منها المواقع المدارية للكواكب والنجوم وغيرها من الأجرام السماوية، ويُستخدم $J_{2000.0}$ في النماذج الرياضية الفلكية الدقيقة، ونظام الإحداثيات الفلكية الحديث.

تُعد هذه الأنظمة ضرورية في الحسابات الفلكية لتمكين المقارنة الدقيقة بين التواريخ، وحساب الفترات الزمنية بين الظواهر السماوية، وضبط الزمن في المحاكاة الفلكية أو التقاويم. وتجدر الإشارة إلى أن JD يبدأ دائمًا من منتصف النهار، أي أن منتصف الليل في التقويم الميلادي يقع عند JD + 0.5.

اعتمدنا في هذا الكتاب حقبة زمنية مخصصة، لحساب الصيغ الرياضية بعدد اليوم d، ويتم التعبير عن الساعات والدقائق والثواني ككسور من هذا اليوم. تبدأ الحقبة عند اليوم 0.0 من يناير لسنة 2000م الساعة 00:00 UT، حيث عدد اليوم 1 يقابل 01 يناير 2000م الساعة 00:00 بالتوقيت العالمي UT، ويتم حساب عدد اليوم d في هذه الحقبة الزمنية المخصصة على النحو التالي :-

```
A = 367*Y

B = INT((M+9)/12)

C = INT((7*(Y+B)/4))

D = INT((275*M)/9)+ Date -730530

d = A-C+D
```

حيث إن: -

Y السنة

M الشهر

Date اليوم من الشهر

تحسب d لبداية اليوم عند الساعة 00:00 UT بالتوقيت العالمي، فإذا أردت الحساب لساعة UT أخرى من ساعات اليوم قم بتضمينها إلى عدد اليوم d، عن طريق إضافتها على شكل أجزاء من اليوم: -

$$d = d + UT/24.0$$

في حال أردت التعامل بالتوقيت الأرضي النظري TT، ما عليك سوى حساب قيمة ΔT بالطريقة المذكورة سالفًا، ومن ثم قم بتحويلها من ثوان إلى جزء من اليوم، وإضافتها إلى عدد اليوم d للحصول على عدد اليوم d_{TT} منسوبًا إلى التوقيت الأرضي النظري TT بدلاً عن التوقيت العالمي UT.

$$d_{TT} = d + (\Delta T / 86400)$$

إن استخدام التوقيت العالمي UT في معادلات حساب العناصر المدارية للشمس عوضًا عن التوقيت الأرضي النظري TT، يكون كافيًا في الحسابات اليومية للشمس مثل حسابات الشروق والغروب، ومواقيت الصلاة والقبلة، وحسابات المطالع. حيث يؤدي إلى فروقات زمنية غير ملحوظة، لكنها تبقى مهمة في حسابات فلكية أخرى تتطلب الدقة.

العناصر المدارية للشمس

نتناول في هذا الجزء وصفًا دقيقًا لكيفية حساب موقع الشمس من خلال العناصر المدارية، وقد تم تبسيط الخوارزميات المستخدمة قدر الإمكان مع الحفاظ على الدقة المطلوبة. العناصر المدارية المحسوبة أدناه هي لهذه الحقبة الزمنية، وهي مناسبة للمسائل المطروحة في هذا الكتاب، وقد تبدو هذه الصيغ معقدة قليلاً، لكنني أعتقد أن هذه هي أبسط طريقة لحساب موقع الشمس مع الاحتفاظ بدقة النتائج.

```
ϖ = 282.9404 + 0.000 047 093 5 * d

a = 1.000000   (AU)

e = 0.016709 - 0.000 000 001 151 * d

M = 356.0470 + 0.985 600 258 5 * d
```

حيث إن: -

ϖ Longitude of perihelion طول الحضيض (حصة الحضيض)

a Semi-major axis نصف المحور الرئيسي

e eccentricity الانحراف المركزي المداري

M Mean anomaly زاوية الحصة المتوسطة

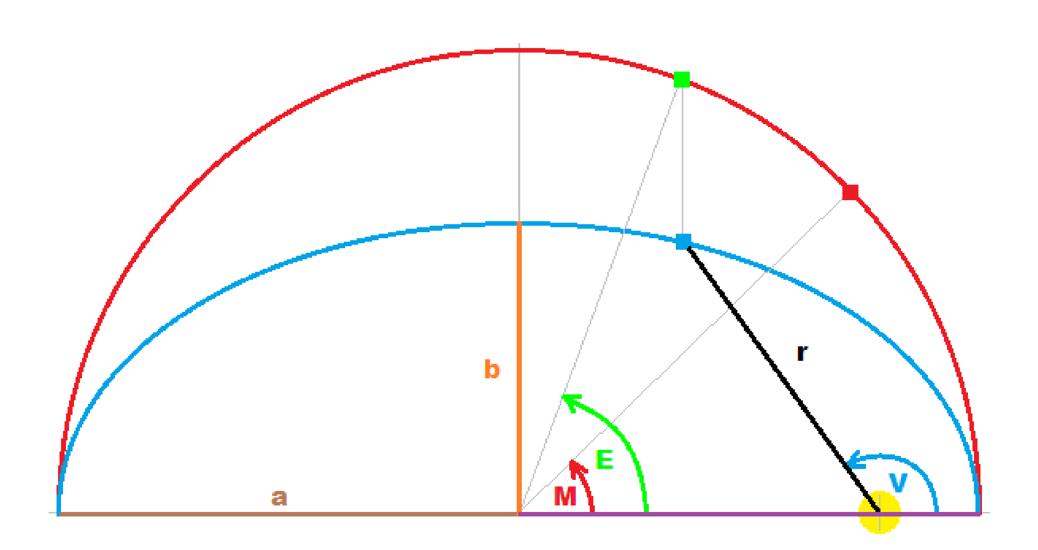
لوصف موقع الجرم السماوي في مداره من خلال الحصة الحقيقية v، والمسافة المتجهة r. نستخدم زاوية الحصة المتوسطة M، والحصة المركزية E لاستنتاج الحصة الحقيقية v، وهي جميعها تساوي صفرًا عندما يكون الكوكب في الحضيض.

الحصة المتوسطة (M): تزداد هذه الزاوية بشكل منتظم بمرور الوقت، بمقدار 360 درجة لكل فترة مدارية. وهي تساوي صفرًا عند الحضيض. ويمكن حسابها بسهولة من الفترة المدارية والوقت منذ آخر حضيض. على اعتبار أن المدار دائري.

الحصة المركزية (E): هذه زاوية مساعدة تستخدم في معادلة كبلر، عند استنتاج قيمة الحصة الحقيقية v من الحصة المتوسطة M والانحراف المركزي المداري e.

الحصة الحقيقية (v): هذه هي الزاوية الفعلية بين الكوكب والحضيض، كما نراها من الجسم المركزي (في هذه الحالة الشمس). وهي تزداد بشكل غير منتظم بمرور الوقت، وتتغير بشكل أسرع عند الحضيض. بسبب إهليجية المدار.

لاحظ أنه بالنسبة للمدار الدائري (الانحراف المركزي المداري e=0)، تكون هذه الزوايا الثلاث متساوية مع بعضها البعض.



كمية أخرى سنحتاجها وهي ε، أو ميل مستوى مدار الشمس السماوي عن مستوى دائرة الاستواء السماوي، أي ميل محور دوران الأرض (حاليًا حوالي $23.4°$ ويتناقص ببطء)، ويسمى الميل الكلي المتوسط ε_0.

$$\varepsilon_0 = 23.4393 - 0.000\ 000\ 356\ 3 * d$$

يتم حساب موقع الشمس تمامًا مثل موقع أي كوكب آخر، ولكن بما أن الشمس تتحرك دائمًا في مستوى الدائرة السماوية هذا يعني انعدام قيمة العرض السماوي β للشمس، وبما أن الانحراف المركزي المداري e صغير جدًا، فيمكن إجراء بعض التبسيطات أثناء خطوات الحساب.

بالطبع، نحن هنا نحسب موقع كوكب الأرض في مداره حول الشمس، ولكن نظرًا لأننا ننظر إلى السماء من منظور مركزية الأرض، فستظهر لنا الشمس وكأنها هي التي تدور حول الأرض.

ابدأ بحساب الحصة المركزية E من الحصة المتوسطة M ومن الانحراف المركزي المداري e من:

```
e0 = e*(180/pi)
E = M+e0*sin(M)*(1+e*cos(M))
```

حيث إن: -

- e_0 الانحراف المركزي المداري بنظام الراديان
- e الانحراف المركزي المداري
- E الحصة المركزية
- M الحصة المتوسطة

ثم احسب المسافة المتجهة r وهي مسافة الشمس في هذه الحالة بالوحدة الفلكية (AU)، وحصتها الحقيقية v من: -

```
x = cos(E) - e

y = sin(E) * sqrt(1.0 - e²)

r = sqrt( (x)²  + (y)² )

Tan(v) =( y / x )
```

لتصحيح قيمة v فإننا نتبع قواعد تصحيح دالة الظل العكسي: -

```
Y > 0 & x > 0   →   v = v

Y > 0 & x < 0   →   v = v + 180

Y < 0 & x < 0   →   v = v + 180

Y < 0 & x > 0   →   v = v + 360
```

أخيراً، احسب خط الطول السماوي الحقيقي للشمس ⊙ من:

$$\odot = v + \varpi$$

الخطوة التالية اختيارية، يمكنك الاكتفاء بحساب إحداثيات الشمس باستخدام خط الطول الحقيقي ⊙. لكن هذه الخطوة توفر دقة أكبر لذا سأذكرها هنا. نحتاج في البداية إلى حساب قيمة تسمى طول عقدة القمر Ω، والتي سنستخدمها في تصحيح خط الطول الحقيقي للشمس ⊙ من بعض الاضطرابات المدارية، والعوامل المؤثرة على دقة الموقع مثل الترنح في الطول، والزيغ الضوئي. لذا نحسب طول عقدة القمر Ω ثم نستخدم قيمتها للحصول على خط الطول الظاهري للشمس λ.

```
Ω =125.1228 - 0.052 953 808 3*d
λ = ⊙ - 0.00569 - 0.00478*Sin(Ω)
```

تصحيح آخر يسمى الترنح في الميل يضاف كذلك لقيمة الميل الكلي المتوسط ε_0 للحصول الميل الكلي الحقيقي ε.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + 0.00256*\text{Cos}(\Omega)$$

مثال: - احسب موقع الشمس السماوي ليوم 25 **فبراير** 2025 **عند الساعة** 00:00 UT **وبقية عناصرها الفلكية.**

```
A = 367*Y

B = INT((M+9)/12)

C = INT((7*(Y+B)/4))

D = INT((275*M)/9)+ Date -730530

d = A-C+D


A = 367*2025

B = INT((2+9)/12)

C = INT((7*(2025+B)/4))

D = INT((275*2)/9)+ 25 -730530
```

```
A = 743175

B = 0

C = INT((7*(2025+0)/4))

D = 61 + 25 - 730530


A = 743175

C = 3543

D = -730444


d = A-C+D

d = 743175-3543+(-730444)

d = 9188
```

ϖ =282.9404+0.000 047 093 5*d

ϖ =282.9404+0.000 047 093 5*9188

ϖ =283.373095

e =0.016709-0.000 000 001 151*d

e =0.016709-0.000 000 001 151*9188

e =0.016698

M =356.0470+0.985 600 258 5*d

M =356.0470+0.985 600 258 5*9188

M =51.742175

e_0 = e*(180/pi)

e_0 = 0.016698*(180/pi)

e_0 = 0.956725

$E = M + e_0 * \sin(M) * (1 + e * \cos(M))$

$E = 51.742175 + 0.956725$

$* \sin(51.742175)$

$* (1 + 0.016698 * \cos(51.742175))$

$E = 52.501194$

$x = \cos(E) - e$

$x = \cos(52.501194) - 0.016698$

$x = 0.592046$

$y = \sin(E) * \mathrm{sqrt}(1.0 - e^2)$

$y = \sin(52.501194) * \mathrm{sqrt}(1 - 0.016698^2)$

$y = 0.793255$

$r = sqrt((x)^2 + (y)^2)$

$r = sqrt((0.592046)^2 + (0.793255)^2)$

r = 0.989834 AU

Tan(v) =(y / x)

Tan(v) =(0.793255 / 0.592046)

v = 53.264174

Y > 0 & x > 0 → v = v

v = 53.264174

$\odot = v + \varpi$

$\odot = 53.264174 + 283.373095$

$\odot = 336.637269$

Ω =125.1228 - 0.052 953 808 3*d

Ω =125.1228-0.0529538083*9188

Ω =358.583209

λ = ⊙ - 0.00569 - 0.00478*Sin(Ω)

λ = 336.637269

-0.00569-0.00478*Sin(358.583209)

λ = 336.631697

نظراً لأن الشمس تكون دائمًا في مستوى الدائرة السماوية والتي تعرف أحيانًا باسم الدائرة الكسوفية أو دائرة البروج، وهي مستوى مدار كوكب الأرض حول الشمس. بمعنى آخر، المسار الظاهري الذي تتبعه الشمس في السماء على مدار السنة. فإنه لا يكون للشمس قيمة تذكر في العرض السماوي β حيث إن الشمس تقع دائمًا على هذا المستوى السماوي. أما خط الطول السماوي λ للشمس فيتغير على مدار السنة حيث تدور حول الأرض من منظورنا، مما يحدد موقع الشمس على طول المستوى

السماوي ابتداء من نقطة الاعتدال الربيعي γ باتجاه الشرق، وهي النقطة الناتجة عن تقاطع دائرتين عظيمتين. النقطة التي تعبر عندها الشمس خط الاستواء من الجنوب إلى الشمال تسمى الاعتدال الربيعي γ، وتمر الشمس عبر هذه النقطة حوالي 20 مارس من كل عام. هذه هي النقطة التي يتم قياس درجة الطول السماوي منها، لذا هنا $\lambda=0$. بينما النقطة عند $\lambda=180$، تسمى الاعتدال الخريفي، وتمر الشمس عبر هذه النقطة حوالي 23 سبتمبر من كل عام. عند كلتا النقطتين، تكون الشمس على خط الاستواء السماوي.

تميل دائرة البروج بحوالي 23.4 درجة بالنسبة إلى خط الاستواء السماوي، وذلك يسبب ميلان محور دوران الكرة الأرضية. هذا الميل يسمى الميل الكلي ε_0، ويحسب من:

$$\varepsilon_0 = 23.4393 - 0.000\ 000\ 356\ 3 * d$$

$$\varepsilon_0 = 23.4393 - 0.000\ 000\ 356\ 3 * 9188$$

$$\varepsilon_0 = 23.436026$$

$\varepsilon = \varepsilon_0 + 0.00256*Cos(\Omega)$

$\varepsilon = 23.436026+0.00256*Cos(358.583209)$

$\varepsilon = 23.438585$

نقوم بحساب الميل الكلي ε من أجل تحويل إحداثيات الشمس السماوية إلى إحداثيات استوائية نسبة إلى مركزية الأرض، والمتمثلة بكل من المطلع المستقيم α، والميل δ. على أن تكون درجة المطلع المستقيم α في نفس الربع من الدائرة التي يكون فيها الطول السماوي للشمس λ، أو اتبع القاعدة التالية: -

لاختيار الزاوية الصحيحة لقيمة α فإنه يكون لدينا الاحتمالات التالية بحسب قيمة الطول السماوي الظاهري للشمس λ: -

$\lambda < 090 \rightarrow \alpha = \alpha$

$090 < \lambda < 270 \rightarrow \alpha = \alpha + 180$

$\lambda > 270 \rightarrow \alpha = \alpha + 360$

$$Tan(\alpha) = Tan(\lambda) * Cos(\epsilon)$$

$$Tan(\alpha) = Tan(336.631697) Cos(23.438585)$$

$$\alpha = -21.624839$$

$$\lambda > 270 \rightarrow \alpha = \alpha + 360$$

$$\alpha = -21.619981 + 360$$

$$\alpha = 338.375161$$

$$Sin(\delta) = Sin(\lambda) * Sin(\epsilon)$$

$$Sin(\delta) = Sin(336.631697) Sin(23.438585)$$

$$\delta = -9.077476$$

لحساب معادلة الوقت Eq، ونصف قطر الشمس SD، واختلاف المنظر P، على النحو الآتي: -

هناك كمية سنحتاجها وهي الطول المتوسط للشمس L

$L = M + \varpi$

$L = 51.742175 + 283.373095$

$L = 335.11527$

$Eq = (L - \alpha) * 4$

$Eq = (335.11527-338.375161)*4$

$Eq = - 13^m \ 02^s$

$SD = (959.63/r)/60$

$SD = (959.63/0.989834)/60$

$SD = 16' \ 09''$

P = (8.974/r)

P = (8.974/0.989834)

P = 9.066″

مثال: - احسب موقع الشمس السماوي ليوم 26 فبراير 2025 عند الساعة 00:00 UT وبقية عناصرها الفلكية.

A = 367*Y

B = INT((M+9)/12)

C = INT((7*(Y+B)/4))

D = INT((275*M)/9)+ Date -730530

d = A-C+D

A = 367*2025

B = INT((2+9)/12)

C = INT((7*(2025+B)/4))

D = INT((275*2)/9)+ 26 -730530

A = 743175

B = 0

C = INT((7*(2025+0)/4))

D = 61 + 26 - 730530

A = 743175

C = 3543

D = -730443

d = A-C+D

d = 9189

ϖ =282.9404+0.000 047 093 5*d

ϖ =282.9404+0.000 047 093 5*9189

ϖ =283.373142

e =0.016709-0.000 000 001 151*d

e =0.016709-0.000 000 001 151*9189

e =0.016698

M =356.0470+0.985 600 258 5*d

M =356.0470+0.985 600 258 5*9189

M =52.727775

e_0 = e*(180/pi)

e_0 = 0.016698*(180/pi)

e_0 = 0.956725

```
E = M+e0*Sin(M)*(1+e*Cos(M))
E = 52.727775+0.956725
    *Sin(52.727775)
    *(1+0.016698*Cos(52.727775))
E = 53.496804


x = Cos(E) - e
x = Cos(53.496804) - 0.016698
x = 0.578169


y = Sin(E) * sqrt(1.0 - e2)
y = Sin(53.496804)*sqrt(1-0.0166982)
y = 0.803712
```

$r = sqrt((x)^2 + (y)^2)$

$r = sqrt((0.578169)^2 + (0.803712)^2)$

r = 0.990066 AU

Tan(v) =(y / x)

Tan(v) =(0.803712 / 0.578169)

v = 54.269765

Y > 0 & x > 0 → v = v

v = 54.269765

$\odot = v + \varpi$

$\odot = 54.269765 + 283.373142$

$\odot = 337.642907$

Ω =125.1228 - 0.052 953 808 3*d

Ω =125.1228-0.0529538083*9189

Ω =358.530255

λ = ⊙ - 0.00569 - 0.00478*Sin(Ω)

λ = 337.642907

-0.00569-0.00478*Sin(358.530255)

λ = 337.637339

ε_0 = 23.4393 - 0.000 000 356 3 * d

ε_0 = 23.4393-0.000 000 356 3*9189

ε_0 = 23.436026

ε = ε_0 + 0.00256*Cos(Ω)

ε = 23.436026+0.00256*Cos(358.530255)

ε = 23.438585

$$Tan(\alpha) = Tan(\lambda) * Cos(\varepsilon)$$

$$Tan(\alpha) = Tan(337.637339) Cos(23.438585)$$

$$\alpha = -20.679592$$

$$\lambda > 270 \rightarrow \alpha = \alpha + 360$$

$$\alpha = -20.679592 + 360$$

$$\alpha = 339.320408$$

$$Sin(\delta) = Sin(\lambda) * Sin(\varepsilon)$$

$$Sin(\delta) = Sin(337.637339) Sin(23.438585)$$

$$\delta = -8.704421$$

$$L = M + \varpi$$

$$L = 52.727775 + 283.373142$$

$$L = 336.100917$$

$$Eq = (L - \alpha) * 4$$

$$Eq = (336.100917-339.320408)*4$$

$$Eq = -\ 12^{m}\ \ 53^{s}$$

$$SD = (959.63/r)/60$$

$$SD = (959.63/0.990066)/60$$

$$SD = 16'\ \ 09''$$

$$P = (8.974/r)$$

$$P = (8.974/0.990066)$$

$$P = 9.064''$$

مثال: - احسب موقع الشمس السماوي ليوم 15 أغسطس 2025 عند الساعة 30 : 08 UT وبقية عناصرها الفلكية.

```
A = 367*Y

B = INT((M+9)/12)

C = INT((7*(Y+B)/4))

D = INT((275*M)/9)+ Date -730530

d  = A-C+D


A = 367*2025

B = INT((8+9)/12)

C = INT((7*(2025+B)/4))

D = INT((275*8)/9)+ 15 -730530
```

```
A = 743175

B = 1

C = INT((7*(2025+1)/4))

D = 244 + 15 - 730530


A = 743175

C = 3545

D = -730271

d = A-C+D

d = 743175-3545+(-730271)

d  = 9359

d = d + UT/24.0
```

$d = 9359 + (((30^m/60)+8^h)/24.0)$

```
d = 9359.354166
```

ϖ =282.9404+0.000 047 093 5*d

ϖ =282.9404+0.000 047 093 5

*9359.354166

ϖ =283.381164

e =0.016709-0.000 000 001 151*d

e =0.016709-0.000 000 001 151

*9359.354166

e =0.016698

M =356.0470+0.985 600 258 5*d

M =356.0470+0.985 600 258 5

*9359.354166

M =220.628885

$e_0 = e*(180/pi)$

$e_0 = 0.016698*(180/pi)$

$e_0 = 0.956725$

$E = M+e_0*Sin(M)*(1+e*Cos(M))$

$E = 220.628885+0.956725$

$*Sin(220.628885)$

$*(1+0.016698*Cos(220.628885))$

$E = 220.013802$

$x = Cos(E) - e$

$x = Cos(220.013802) - 0.016698$

$x = -0.782587$

y = Sin(E) * sqrt(1.0 – e^2)

y = Sin(220.013802)*sqrt(1–0.016698^2)

y = -0.642882

r = sqrt($(x)^2$ + $(y)^2$)

r = sqrt($(-0.782587)^2$ + $(-0.642882)^2$)

r = 1.012788 AU

Tan(v) =(y / x)

Tan(v) =(-0.642882 / -0.782587)

v = 39.402526

Y < 0 & x < 0 → v = v + 180

v = 39.402526 + 180

v = 219.402526

$\odot = v + \varpi$

$\odot = 219.402526 + 283.381164$

$\odot = 142.78369$

Ω =125.1228 - 0.052 953 808 3*d

Ω =125.1228-0.0529538083

*9359.354166

Ω =349.509353

λ = ⊙ - 0.00569 - 0.00478*Sin(Ω)

λ = 142.78369

-0.00569-0.00478*Sin(349.509353)

λ = 142.778870

ε_0 = 23.4393 - 0.000 000 356 3 * d

ε_0 = 23.4393-0.0000003563

*9359.354166

ε_0 = 23.435965

ε = ε_0 + 0.00256*Cos(Ω)

ε = 23.435965+0.00256*Cos(349.509353)

ε = 23.438482

Tan(α)= Tan(λ) * Cos(ϵ)

Tan(α)=Tan(142.77887)Cos(23.438482)

α = -34.874356

090 < λ < 270 → α = α + 180

α = -34.874356 + 180

α = 145.125644

$\mathrm{Sin}(\delta) = \mathrm{Sin}(\lambda) * \mathrm{Sin}(\epsilon)$

$\mathrm{Sin}(\delta) = \mathrm{Sin}(142.77887)\mathrm{Sin}(23.438482)$

$\delta = 13.922233$

$L = M + \varpi$

$L = 220.628885 + 283.381164$

$L = 144.010049$

$Eq = (L - \alpha) * 4$

$Eq = (144.010049 - 145.125644)*4$

$Eq = -\ 04^{m}\ \ 28^{s}$

$SD = (959.63/r)/60$

$SD = (959.63/1.012788)/60$

$SD = 15'\ \ 47''$

$P = (8.974/r)$

$P = (8.974/1.012788)$

$P = 8.860''$

استيفاء قيم العناصر الفلكية

الاستيفاء الخطي أو الاستكمال الداخلي هو إحدى الطرق الرياضية المستخدمة لإيجاد قيم جديدة اعتمادا على مجموعة متسلسلة من القيم المحددة والمعلومة سلفًا. ويمكن الاستفادة من هذه الطريقة في إيجاد بعض القيم الفلكية X عند ساعة أخرى من ساعات اليوم غير بدايته، وذلك من خلال تطبيق العلاقة الرياضية التالية: -

$$X = X_1 + (UT * (X_2 - X_1) / 24)$$

حيث إن: -

X_1 قيمة العنصر الفلكي عند بداية اليوم الأول

X_2 قيمة العنصر الفلكي عند بداية اليوم التالي

UT الوقت المطلوب عنده حساب قيمة العنصر الفلكي

مثال: - احسب قيمة كل من درجة ميل الشمس δ، ومطلعها المستقيم α يوم 25 فبراير 2025 عند الساعة 00 : 20 UT إذا علمت أن: -

	UT 00:00	Sun α	Sun δ
X_1	2025-02-25	338.375161	-9.077476
X_2	2025-02-26	339.320408	-8.704421

نبدأ بإيجاد قيمة درجة ميل الشمس δ يوم 25 فبراير 2025 عند الساعة 00 : 20 UT

$$X = X_1 + (UT * (X_2 - X_1) / 24)$$

$$X = -9.077476 + (20*(-8.704421-(-9.077476))/24)$$

$$\delta_{UT20:00} = -8.766596$$

ثم إيجاد قيمة مطلعها المستقيم α يوم 25 فبراير 2025 عند الساعة UT 20:00

$$X = X_1 + (UT * (X_2 - X_1) / 24)$$

$$X = 338.375161 + (20*(339.320408-338.375161)/24)$$

$$\alpha_{UT20:00} = 339.162866$$

الوقت النجمي

يستخدم الوقت النجمي θ في حساب المواقيت الفلكية، لأنه يرتبط بشكل مباشر بدوران الكرة الأرضية، وعلاقتها بالحركة الظاهرية للأجرام السماوية، وهو بمثابة مقياس زمني يعتمد على معدل دوران الأرض المقاس بالنسبة للنجوم الثابتة، ويعرف على أنه طول القوس على دائرة خط الاستواء السماوي المقاس غرباً ابتداء من خط الزوال وحتى خط الزول المار بنقطة الاعتدال الربيعي γ، وعليه يكون اليوم النجمي الزمن المحصور بين مرورين متتاليين لنقطة الاعتدال الربيعي على خط الزوال، ويساوي 23.9344696 ساعة بينما يساوي اليوم الشمس

المتوسط 24 ساعة. ما يعني إمكانية تحويل الساعات الشمسية المتوسطة إلى ساعات نجمية من خلال ضربها في القيمة 1.00273791

يحسب الوقت النجمي لغرينتش θ_G بوحدة الساعات الزمنية لخط زوال غرينتش لبداية اليوم عند 00:00 UT على النحو التالي: -

من مثال يوم 25 فبراير 2025

$$\theta_G = (L/15) + 12^h$$

$$\theta_G = (335.11527/15) + 12^h$$

$$\theta_G = 34^h \; 20^m \; 27.66^s \qquad (-24^h)$$

$$\theta_G = 10^h \; 20^m \; 27.66^s$$

ويحسب الوقت النجمي لغرينتش $\theta_{G.UT}$ لساعة UT أخرى من ساعات اليوم غير بدايته، وليكن عند 16:25 UT يوم 25 فبراير 2025، بإضافة هذه الساعات UT^h على الوقت النجمي لغرينتش θ_G لبداية اليوم بعد تحويلها إلى ساعات نجمية بضربها في 1.00273791

$\theta_{G.UT} = \theta_G + (UT^h*1.00273791)$

$((25^m/60)+16^h)* 1.00273791)=16.461614^h$

$\theta_{G.UT} = 10.341018^h + 16.461614^h$

$\theta_{G.UT} = 02^h\ 48^m\ 9.48^s$

ويحسب الوقت النجمي المحلي $\theta_{L.UT}$ لخط الزوال المحلي عند الساعة 16:25 UT من يوم 25 فبراير 2025، وليكن خط الطول الجغرافي Long 048 E درجة بإضافة هذا الطول الجغرافي بعد تحويله إلى وحدات زمنية على النحو التالي: -

$\theta_{L.UT} = \theta_{G.UT} + (Long/15)$

$\theta_{L.UT} = 2.802632^h + (+048/15)$

$\theta_{L.UT} = 06^h\ 00^m\ 9.48^s$

وعلى ذلك تكون العلاقة الرياضية المباشرة لحساب الوقت النجمي المحلي لوقت محدد $\theta_{L.UT}$

$$\theta_{L.UT} = ((L/15)+12^h)+(Long/15) +(UT^h*1.00273791)$$

حيث إن: -

L	الطول المتوسط للشمس محسوب عند 00:00 UT
Long	خط الطول الجغرافي بإشارة موجبة للشرقي وسالبة للغربي
UT^h	ساعات وأجزاء الساعات بالتوقيت العالمي UT

كما يمكن حساب الوقت النجمي المحلي $\theta_{L.UT}$ بدلالة عدد اليوم d

$$\theta_{L.UT} = 6.59888888+(0.0657098244*d) +(Long/15)+(UT^h*1.00273791)$$

حيث تتيح هذه العلاقة الرياضية حساب الوقت النجمي المحلي لأي ساعة من ساعات اليوم بشكل مباشر دون الحاجة إلى قيمة الطول المتوسط للشمس L المحسوبة لبداية اليوم عند 00:00 UT

مثال: - احسب الوقت النجمي θ ليوم 15 أغسطس 2025 عند الساعة 08:30 UT لخط الطول الجغرافي Long 048 E درجة شرق إذا علمت أن عدد اليوم d يعادل 9359

$$\theta_{L.UT} = 6.59888888^{h} + (0.0657098244*d) + (Long/15) + (UT^{h}*1.00273791)$$

$$\theta = 6.59888888^{h} + (0.0657098244*9359) + (048/15) + (8.5*1.00273791)$$

$$\theta_{L.UT} = 09^{h} \quad 18^{m} \quad 1.47^{s}$$

لا تدخل قيمة ΔT في حسابات الوقت النجمي θ لأنه مبني على دوران الأرض الحقيقي بالنسبة للنجوم الثابتة، أي أنه يعتمد على وضع الأرض الحقيقي، وبالتالي هو يعتمد على التوقيت العالمي UT لا على التوقيت الأرضي النظري TT، ولذلك نستخدم هنا لحساب الطول المتوسط للشمس L العلاقة الرياضية التالية: -

$$L = 278.9874 + 0.985647352 \times d$$

إذ يُحسب الطول المتوسط للشمس L في هذه الصيغة الرياضية بالنسبة إلى التوقيت العالمي UT، بشكل منفصل عن قيمة كل من طول الحضيض ϖ، وزاوية الحصة المتوسطة M، أما إذا كنت قد أهملت قيمة الفرق ΔT عند حساب عدد اليوم d، فإن جميع العناصر المدارية للشمس تكون حينها منسوبة إلى التوقيت العالمي UT، فتجاهل هذه الملاحظة.

تحويل الوقت النجمي إلى الوقت العالمي

إذا كان معك الوقت النجمي المحلي $\theta_{L.UT}$، وخط الطول الجغرافي Long، وتريد تحويله إلى الوقت العالمي UT. فإنك تبدأ بتحويل الوقت النجمي المحلي إلى الوقت النجمي لغرينتش $\theta_{G.UT}$ من خلال الصيغة الرياضية التالية: -

$$\theta_{G.UT} = \theta_{L.UT} - Long/15$$

ثم تقوم بتحويل الوقت النجمي لغرينتش إلى الوقت العالميUT بدلالة الوقت النجمي لغرينيتش θ_G عند الساعة 00 : 00 UT في ذلك اليوم، وذلك باستخدام الصيغة الرياضية التالية: -

$$UT = (\theta_{G.UT} - \theta_G)/1.00273791$$

مثال: - أوجد الوقت العالمي UT **يوم** 25 **فبراير** 2025**، عند خط الطول الجغرافي** Long 048 E**، إذا علمت ان الوقت النجمي المحلي** $\theta_{L.UT}$ **يعادل** 6.002632^h**، وأن الوقت النجمي لغرينيتش** θ_G **عند بداية ذلك اليوم** 10.341018^h

$$\theta_{G.UT} = \theta_{L.UT} - Long/15$$

$$\theta_{G.UT} = 6.002632 - (+48/15)$$

$$\theta_{G.UT} = 02^h \quad 48^m \quad 9.48^s$$

$$UT = \theta_{G.UT} - \theta_G$$

$$UT = 2.802632-10.341018$$

$$UT = -7.538386$$

$$UT = (-7.538386+24)/1.00273791$$

$$UT = 16^h \quad 25^m \quad 00^s \quad \text{Feb. 25th, 2025}$$

الزاوية الساعية

الزاوية الساعية H هي قوس من دائرة الاستواء السماوي مقاس غرباً ابتداء من خط الزوال المحلي، وحتى خط الزوال المار بالجرم السماوي بمعنى أنها تمثل خط الطول الغربي للجرم السماوي.

عند خط الزوال المحلي تساوي الزاوية الساعية H صفرًا. فيكون الجرم السماوي حينها تماماً عند خط الزوال، وهذه هي اللحظة التي يكون فيها الجرم في أعلى ارتفاع له فوق الأفق.

$$H = \theta - \alpha$$

بالنظر إلى العلاقة الرياضية التي تربط كل من الزاوية الساعية **H**، والوقت النجمي θ، والمطلع المستقيم α. سنلاحظ أن الوقت النجمي للجرم السماوي عند أي وقت يساوي مجموع كل من الزاوية الساعية، والمطلع المستقيم لهذا الجرم.

بينما عند اللحظة التي يكون فيها الجرم عند خط الزوال فإن قيمة الزاوية الساعية لهذا الجرم تساوي الصفر، وبالتالي تكون قيمة الوقت

النجمي مساوية لقيمة المطلع المستقيم لهذا الجرم. عند هذه اللحظة، لو استخرجنا الوقت النجمي كان الحاصل هو المطلع المستقيم لهذا الجرم عند هذا الوقت تحديداً.

بعد أن يتم الجرم السماوي عبوره الزوالي متجهاً في حركته الظاهرية اليومية ناحية الغرب. يبدأ حينها قياس الزاوية الساعية لهذا الجرم، والتي تتزايد قيمتها مع مرور الوقت. ذلك يعني أن الوقت النجمي θ يخبرنا ويحدد لنا الجزء من المطلع المستقيم α الواقع تماماً عند خط الزوال المحلي. بينما تحدد لنا الزاوية الساعية H مقدار الزاوية التي تفصل بين خط الزوال المحلي وبين خط الزوال المار بالجرم السماوي، وبالتالي معرفة الوقت المتبقي لبلوغ الجرم السماوي لخط الزوال المحلي أو الماضي منه[1].

[1] تُعرف العلاقة الأساسية بين المطلع المستقيم (α) ، والزاوية الساعية (H) ، والوقت النجمي المحلي (θ) بالعلاقة التالية: $H = \theta - \alpha$

وعندما يكون الجرم السماوي على خط الزوال، فإن $H = 0$، وبالتالي $\theta = \alpha$

وهذه العلاقة تُمكننا من استخدام الوقت النجمي لتحديد موقع الأجرام في السماء في أي لحظة.

مثال: - احسب الزاوية الساعية H للشمس الساعة 30 : 08 UT من يوم 15 أغسطس 2025، عند خط الطول Long 048 E.

هنا يجب التعبير عن α وθ بنفس الوحدة، الساعات أو الدرجات. نختار الدرجات:

$$H = \theta_{L.UT} - \alpha$$

$$H = (9.30040767^h * 15) - 145.125644$$

$$H = 354.380471$$

هذه الدرجة للزاوية الساعية H تخبرنا بوضوح بأن الشمس تقع في الجهة الشرقية من الأفق. فهي لم تبلغ بعد خط الزوال المحلي، وأنها قريبة جداً من بلوغه فهي بحاجة فقط إلى 5.619 درجة لتحقيق ذلك أو ما يعادل حوالي 22.5^m دقيقة زمنية إضافية.

الزاوية السمتية والارتفاع

الزاوية السمتية A عبارة عن طول القوس على دائرة الافق، أو الزاوية عند سمت الرأس مقاسة من الدائرة الرأسية الرئيسية باتجاه الشرق، وحتى الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي، وتتحدد الزاوية السمتية بالدرجات إما بالنظام الربعي، أو النظام النصف دائري، أو النظام الدائري. عادةً تحدد بالدرجات من 0 درجة إلى 360 درجة في اتجاه عقارب الساعة، وهو ما يعرف باسم النظام الدائري في قياس الزاوية السمتية A.

بينما يعرف الارتفاع h على أنه طول القوس المقاس على الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي ابتداء من دائرة الأفق، وحتى موقع الجرم، وهي تتراوح بين 0 درجة عند الأفق إلى 90 درجة عند سمت الرأس. ومع ذلك، من الممكن الحصول على قيم سالبة أسفل أفق الرصد.

$$Sin(h) = (a + b)$$

$$a = Sin(\delta) * Sin(Lat)$$

$$b = Cos(\delta) * Cos(Lat) * Cos(H)$$

$$Cos(A) = (y / x)$$

$$y = Sin(\delta) - Sin(Lat) * Sin(h)$$

$$x = Cos(Lat) * Cos(h)$$

$$H > 180 \rightarrow A = A$$

$$H < 180 \rightarrow A = 360^\circ - A$$

مثال: - احسب الزاوية السمتية A، والارتفاع h للشمس الساعة 08:30 UT من يوم 15 أغسطس 2025، عند خط العرض الجغرافي Lat 29.25 N درجة شمال.

```
a = Sin(13.922233) * Sin(29.25)
b = Cos(13.922233) * Cos(29.25)
    * Cos(354.380471)

Sin(h) = ( a + b )
Sin(h) = ( 0.11756456 + 0.84279489 )
    h  = 73.813511

y = Sin(13.922233) - Sin(29.25)
    *Sin(73.813511)
x = Cos(29.25) * Cos(73.813511)
```

$Cos(A) = (y / x)$

$Cos(A) = (-0.22864732 / 0.24322104)$

$A = 160.065054$

$H > 180 \rightarrow A = A$

$A = 160.065054$

في المثال السابق، حسبنا ارتفاع الشمس h في لحظة معينة. الآن نريد أن نعرف في أي لحظة تصل الشمس إلى ارتفاع معين، ويتم ذلك عبر حساب قيمة الزاوية الساعية H من خلال المعادلة الرياضية التالية: -

$Cos(H) = (y / x)$

$y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(\delta)$

$x = Cos(Lat)\ Cos(\delta)$

$A > 180 \rightarrow H = H$

$A < 180 \rightarrow H = 360° - H$

قياس الزاوية السمتية

تعبر الزاوية السمتية A في النظام الدائري عن الاتجاه على المستوى الأفقي بالدرجات من 0 إلى 360 باتجاه عقارب الساعة. مع الإشارة إلى الشمال الحقيقي كمرجع للقياس لهذا القياس.

بينما الزاوية السمتية A في النظام النصف دائري هي اتجاه نسبي، يتم قياسها بالنسبة للقطب المرتفع أي بالنسبة لقطب الشمال في خطوط العرض الشمالية، وبالنسبة لقطب الجنوب في خطوط العرض الجنوبية، ويتم التعبير عنها بالدرجات من 0 إلى 180، بدون إشارة، حيث يتم تحديد ذلك من خلال قيمة الزاوية الساعية H.

نلاحظ هنا أن الزاوية السمتية A غامضة بعض الشيء، فقد تكون على يسار أو على يمين نقطة المرجع. تم وضع هذا المفهوم لأغراض تبسيط عرض الحلول الرياضية في المثلثات الكروية، ومن أجل تحويل الزاوية السمتية A من النظام الدائري إلى النظام النصف دائري نقوم بتوضيح ذلك على النحو التالي: -

- في خطوط العرض الشمالية

$H > 180 \rightarrow A = A$

$H < 180 \rightarrow A = 360° - A$

- في خطوط العرض الجنوبية

$H > 180 \rightarrow A = 180° - A$

$H < 180 \rightarrow A = 180° + A$

اما الزاوية السمتية A في النظام الربع دائري أو الربعي فيتم فيها قياس الخط المرجعي إما من الشمال باتجاه الشرق أو الغرب أو من الجنوب باتجاه الشرق أو الغرب. مما يعطي الزاوية قيمة أقل من 90 درجة. بذلك يتم تمثيل الزاوية السمتية في النظام الربعي أولاً بالشمال N أو بالجنوب S متبوعة بقيمة الزاوية واتجاه الشرق E أو الغرب W، وبذلك تكون الزاوية السمتية A واقعة إما في الربع الأول، أو الثاني، أو الثالث، أو في الربع الرابع من الدائرة.

ومن أجل تحويل الزاوية السمتية A من النظام الدائري إلى النظام الربعي نقوم بتوضيح ذلك على النحو التالي: -

$000 < A < 090 \rightarrow A = N(A)E$

$090 < A < 180 \rightarrow A = S(180 - A)E$

$180 < A < 270 \rightarrow A = S(A - 180)W$

$270 < A < 360 \rightarrow A = N(360 - A)W$

بينما من أجل تحويل الزاوية السمتية A من النظام الربعي إلى النظام الدائري نقوم بتوضيح ذلك على النحو التالي: -

$N(A)E \rightarrow A = A$

$S(A)E \rightarrow A = 180 - A$

$S(A)W \rightarrow A = 180 + A$

$N(A)W \rightarrow A = 360 - A$

مثال: - قم بتحويل الزاوية السمتية A للشمس التي تبلغ قيمتها 160.065054 درجة، والمقاسة وفقاً للنظام الدائري إلى النظام الربعي والنظام النصف دائري، إذا علمت بأن خط العرض الجغرافي Lat 29.25N، وأن زاويتها الساعية H تعادل 354.380471

تحويل الزاوية السمتية A من النظام الدائري إلى النظام الربعي

A = 160.065054

090 < A < 180 → A = S(180 - A)E

A = S(180 - 160.065054)E

A = S19.934946E

تحويل الزاوية السمتية A من النظام الدائري إلى النظام النصف دائري

- **في خطوط العرض الشمالية حيث** Lat 29.25N

A = 160.065054

H > 180 → A = A

A = 160.065054

تعتبر الزاوية الساعية المحلية H بمثابة خط الطول الغربي بالنسبة إلى الجرم السماوي، حيث يبدأ قياسها غربًا من خط الزوال المحلي للراصد، لتأخذ قيمًا من 0 إلى 360 درجة. في حين أن الزاوية السمتية A تُقاس في النظام الدائري من الشمال باتجاه الشرق من 0 إلى 360 درجة.

ومن الملاحظ وجود علاقة بين قيمة الزاوية الساعية المحلية H الناتجة عن الحسابات المثلثية وقيمة الزاوية السمتية A. حيث إذا كانت الزاوية السمتية للشمس تشير جهة الشرق (قبل الزوال) بقيمة محصورة بين 0 و180 درجة، فهذا يدل على أن الزاوية الساعية المحلية للشمس تكون في النصف الشرقي من الدائرة، فتكون قيمتها أكبر من 180 درجة

بينما إذا كانت الزاوية السمتية للشمس تشير جهة الغرب (بعد الزوال) بقيمة محصورة بين 180 و360 درجة، فهذا يدل على أن الزاوية الساعية المحلية للشمس تكون في النصف الغربي من الدائرة، فتكون قيمتها أصغر من 180 درجة.

لذلك يجب مراعاة هذا التصحيح عند استخراج الزاوية الساعية من قوانين المثلث الكروي، أو من علاقات رياضية تتجاهل تحديد جهة القياس، حيث يعتبر هذا التصحيح ضروريًا لضمان الحصول على القيمة الصحيحة للزاوية الساعية المحلية.

دائرة الأفق

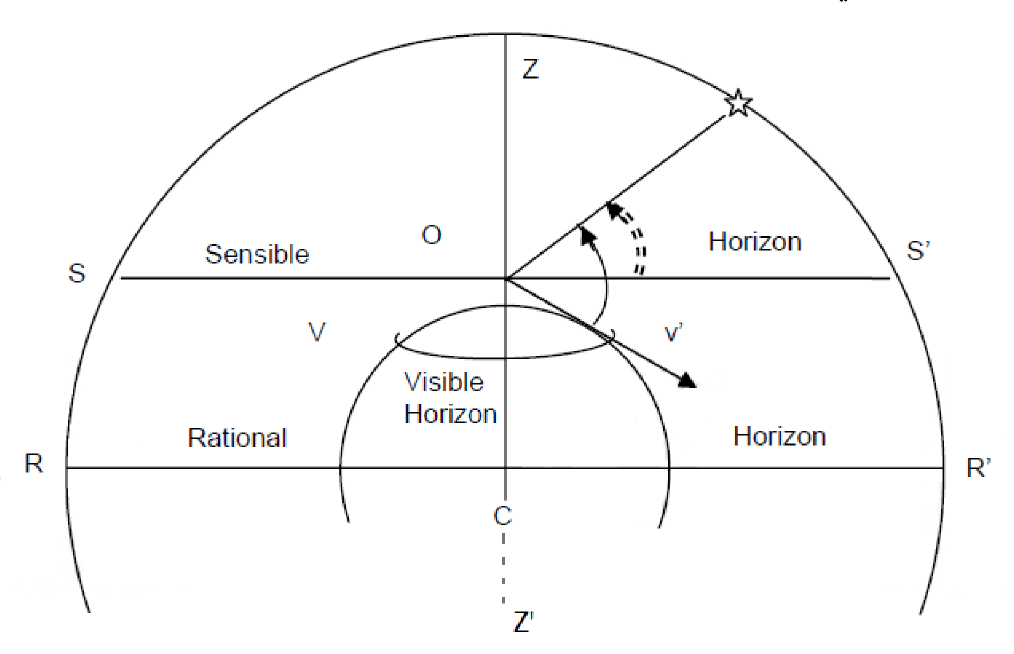
إذا ذهبت بعيدًا عن أضواء المدينة، فإن رؤيتك للسماء في ليلة صافية يمنحك انطباع بأن السماء عبارة عن قبة مجوفة كبيرة وأنت في مركزها، وأن جميع النجوم تقع على سطح هذه القبة، وعلى مسافة متساوية منك. هذا الانطباع ناتج عن الطريقة التي تفسر بها أعيننا الأفق والمجال السماوي. في الواقع، النجوم ليست موزعة على سطح قبة، لكنها موجودة في أعماق الفضاء على مسافات هائلة من بعضها البعض.

قمة تلك القبة، أو النقطة التي تعلو رأسك مباشرة، تسمى سمت الرأس Z، ويقابلها النظير Z′ أسفل قدمك، وحيث تبدو السماء وكأنها تلتقي بالأرض أو البحر يسمى الأفق Horizon. من السهل رؤية الأفق من البحر أو المناطق المستوية كدائرة من حولك، ولكن من معظم الأماكن التي يعيش الإنسان فيها اليوم، يكون الأفق مخفيًا جزئيًا على الأقل بالجبال أو الأشجار أو المباني أو التلوث الدخاني والغبار، ويعرف الأفق Horizon بشكل أكثر تفصيلاً على النحو التالي: -

الأفق المرئي Visible Horizon: عبارة عن دائرة صغرى VV′ على سطح الكرة الأرضية حيث تلاقي السماء مع سطح الأرض خلال الرؤية الواضحة.

الأفق الحسي Sensible Horizon: عبارة عن مستوى الدائرة الصغرى SS′ على الكرة السماوية المار بعين الراصد O والعمودي على الخط الواصل بين السمت والنظير ZZ′. فإن لم يكن للراصد ارتفاع عن مستوى سطح البحر يسمى حينها الأفق الرياضي Mathematical Horizon.

الأفق الحقيقي Rational Horizon: عبارة عن مستوى الدائرة العظمى RR′ على الكرة السماوية المار بمركز الكرة الأرضية والعمودي على الخط الواصل بين السمت والنظير ZZ′، وهو موازي للأفق الحسي.



ظل الارتفاع

إذا تعرض جسم قائم على ارض مستوية لضوء الشمس فإن الجانب المعرض مباشرة للشمس يكون مضيئا، أما الجانب الآخر من هذا الجسم الذي ليس في مواجهتها فيكون واقعا في الظل، ثم نجد أن هذا الجانب المظلل من الجسم يقوم بإلقاء ظل على الأرض.

يسمى الظل المأخوذ من المقاييس القائمة على سطح الأرض بالظل المبسوط، ويظهر أنه مع تغير ارتفاع الشمس، فإنها تلقي ظلالاً مختلفة الطول والاتجاه. حيث نرى أن الشمس عند شروقها من جهة الشرق وحتى قبيل بلوغها خط الزوال المحلي (منتصف النهار). فإن ظل الشاخص يقع جهة الغرب، فإذا بلغت الشمس خط الزوال المحلي، ومالت عنه إلى الجانب الغربي وقع ظل الشاخص في الجانب الشرقي، وهذه هي حركة الظل بالانتقال من الغرب الى الشرق.

ويلاحظ أيضا أن أطوال الظلال تكون أكبر ما يمكن عند شروق الشمس ثم تبدأ في التناقص كلما ارتفعت الشمس في السماء، حتى تبلغ خط الزوال المحلي، وفى هذه الحالة نجد أن الظل يكون أقل ما يمكن، وقد ينعدم بحسب اختلاف الأزمنة والأمكنة، وحينئذ يكون ظل الشاخص المذكور واقعا على خط الزوال. ثم بعد انتقال الشمس إلى جهة الغرب

يبدأ ظل الشاخص في الازدياد مرة أخرى حتى يصل أقصى طول له وقت غروب الشمس.

ويختلف الظل باختلاف الأزمنة والأمكنة، فيختفي عند الزوال في بعض الأشهر في بعض البلاد بحيث لا يرى للشاخص ظلاً، بينما يستمر وجوده في أزمنة أو أمكنة أخرى، وتفصيل ذلك يكون على النحو التالي: -

مع الأخذ في الاعتبار إشارة كل من خطوط العرض ودرجة ميل الشمس فإن البلاد الواقعة على خطوط عرض أكبر من درجة ميل الشمس سيشير ظل الزوال جهة الشمال، والبلاد الواقعة على خطوط عرض أقل من درجة ميل الشمس سيشير ظل الزوال جهة الجنوب. أما البلاد الواقعة على خطوط عرض مساوية لدرجة ميل الشمس لن يلقي الشاخص أي ظل وقت الزوال حيث تكون الشمس في وقت الزوال عمودية على الرأس، وبارتفاع يبلغ 90 درجة[1].

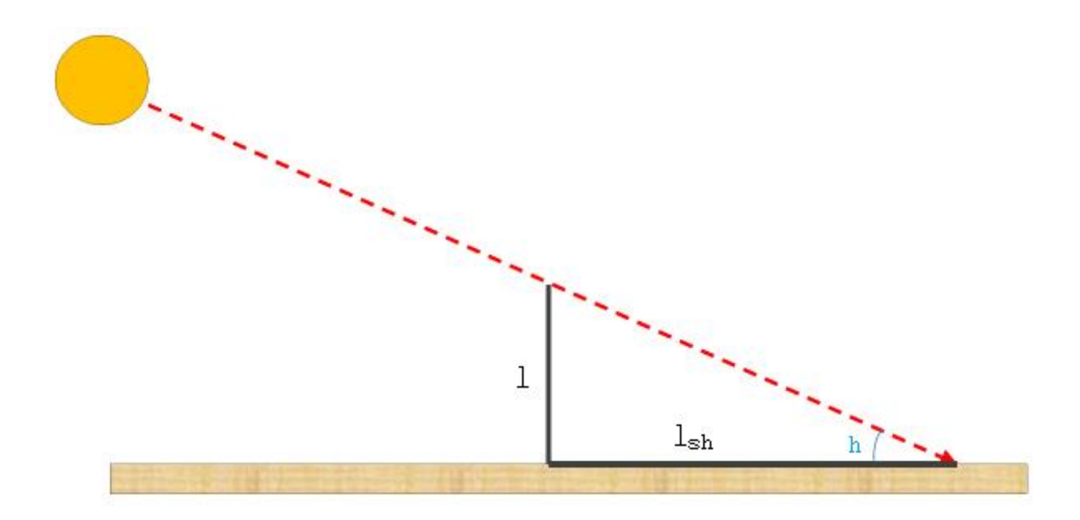
[1] يحدث اختفاء الظل وقت الزوال عندما تقع الشمس تمامًا في سمت الرأس (ارتفاع الشمس = 90 درجة)، وهو ما يحدث عندما يكون خط عرض الموقع = ميل الشمس .تُعرف هذه الظاهرة باسم "انعدام ظل الزوال"، وتُشاهد مرتين في السنة في المناطق الواقعة بين مدار السرطان ومدار الجدي، وتُستخدم عمليًا في تحديد اتجاه القبلة.

ويحسب طول الظل من خلال الصيغة الرياضية التالية: -

$$l_{sh} = l / Tan(h)$$

حيث إن: -

l_{sh}	طول الظل
l	طول الشاخص
h	درجة ارتفاع الشمس



- إذا كانت زاوية ارتفاع الشمس $h = 0°$ (الشمس عند الأفق)

طول الظل = ∞ (ظل طويل ممتد بلا نهاية) ← $Tan(0°) = 0$

- إذا كانت زاوية ارتفاع الشمس $h = 90°$ (الشمس عمودية)

طول الظل = 0 (الظل ينعدم) ← $Tan(90°) = \infty$

- عند ارتفاع الشمس $h = 45°$

طول الظل = طول الشاخص تمامًا ← $Tan(45°) = 1$

مثال: - احسب طول ظل الشمس l_{sh} الساعة 08:30 UT من يوم 15 أغسطس 2025، إذا علمت أن درجة ارتفاعها h تعادل 73.813511، وأن طول الشاخص يعادل 1m

$l_{sh} = 1 / Tan(h)$

$l_{sh} = 1 / Tan(73.813511)$

$l_{sh} = 0.29027116\ m$

حساب مواقيت الصلاة بطريقة الدائر

يُطلق على أعلى نقطة ارتفاع يبلغها جرم سماوي أثناء حركته في السماء بالنسبة للراصد اسم غاية الارتفاع أو ارتفاع الزوال.

فعندما يصل الجرم السماوي إلى هذه النقطة، يكون في أوج ارتفاعه فوق الأفق. إذا كان الجرم يعبر خط الزوال المحلي للراصد، فإن هذه اللحظة تُسمى العبور الزوالي وهي وقت الظهر بالنسبة إلى الشمس[1].

ويكون حساب غاية الارتفاع h من خلال الصيغة الرياضية التالية: -

$$h = 90 - |Lat - \delta|$$

حيث إن: -

Lat خط العرض الجغرافي للراصد

δ درجة الميل

| | القيمة المطلقة للناتج

$$|8| = 8 \ , \quad |-8| = 8$$

[1] في الحسابات الفلكية الدقيقة، يُفرّق بين وقت زوال الشمس وبين وقت بلوغها أقصى ارتفاع. وغالبًا ما يتوافقان، إلا أنه قد يحدث اختلاف بينهما بمقدار ثوانٍ، نتيجة عوامل متعددة مثل الانكسار الجوي، والموقع الجغرافي (خصوصًا عند خطوط العرض العليا)، وتغير درجة ميل الشمس.

كما يمكن حساب وقت غاية الارتفاع، وهو وقت الزوال (الظهر) بالنسبة إلى الشمس T_{Noon} من خلال الصيغة الرياضية التالية: -

$$T_{Noon} = 12^h - (Long/15) - Eq$$

حيث إن: -

12^h	وقت الزوال الحقيقي
Long	خط الطول الجغرافي بالساعات الزمنية
Eq	معادلة الوقت بالساعات الزمنية

مثال: - احسب وقت الزوال T_{Noon} يوم 25 فبراير 2025، ثم احسب غاية ارتفاع الشمس h، وكذلك ظل الزوال l_{sh}. إذا علمت بأن الموقع الجغرافي للراصد 29.25N, 048E

حساب وقت الزوال التقديري T_{Noon}

$$T_{Noon} = 12 - (Long/15) - Eq$$

$$T_{Noon} = 12 - (048/15) - (-00^h\ 13^m\ 02^s)$$

$$T_{Noon} = 09^h\ 01^m\ 02^s\ UT$$

لقد قمنا هنا بحساب وقت الزوال بشكل تقديري، وذلك باستخدام قيمة معادلة الوقت Eq لبداية يوم 25 فبراير عند الساعة 00:00UT ، ولهذا نعيد إجراء الحساب بعد استنتاج القيمة الدقيقة لمعادلة الوقت عند وقت الزوال التقديري $09^h\ 01^m\ 02^s$ UT وذلك باستخدام طريقة الاستيفاء الخطي بين قيمتي معادلة الوقت ليومي 25 و26 فبراير.

	UT 00:00	Sun Eq
X_1	2025-02-25	$-13^m\ 02^s$
X_2	2025-02-26	$-12^m\ 53^s$

$$X = X_1 + (UT * (X_2 - X_1) / 24)$$

$$X = -13^m\ 02^s + (9.017222 * (-12^m\ 53^s - (-13^m\ 02^s))/24)$$

$$Eq_{UT09:01:02} = -00^h\ 12^m\ 59^s$$

حساب وقت الزوال (الظهر) T_{Noon}

$$T_{Noon} = 12 - (Long/15) - Eq$$

$$T_{Noon} = 12 - (048/15) - (-00^h\ 12^m\ 59^s)$$

$$T_{Noon} = 09^h\ 00^m\ 59^s\ UT$$

حساب غاية ارتفاع الشمس h

$$h = 90 - |Lat - \delta|$$

قبل التعويض في المعادلة عن قيمة درجة ميل الشمس δ يجب أن تكون محسوبة لوقت الزوال $09^h\ 00^m\ 59^s$ UT من يوم 25 فبراير، حيث نقوم باستنتاج ذلك من خلال تطبيق طريقة الاستيفاء[1] لقيمة الميل بين يومي 25 و26 فبراير 2025 للحصول على قيمتها عند الوقت المطلوب للحساب، واختصارًا للجهد والوقت سنستخدم

---

[1] يمكن كذلك تقريب معدل تغيّر ميل الشمس اليومي $\Delta\delta$ بالعلاقة:

$$\Delta\delta=\Delta\lambda*\cos(\lambda)\sin(\varepsilon)$$

$$\Delta\lambda=0.985647+0.0329349*\cos(\varpi)$$

تُستخدم هذه المعادلة عند عدم توفر قيم ميل الشمس ليومين متتاليين، كما هو مطلوب في طريقة الاستيفاء الخطي، وتُعد تقديرًا تحليليًا مناسبًا لتغيّر الميل بين يوم وآخر، خاصة في فترات الاعتدالين حين يبلغ هذا المعدل ذروته.
وقد وردت هذه الصيغة في أعمال الدكتور الفلكي زياد علاوي ضمن شرحه لديناميكيات تغيّر الميل الشمسي اليومي.

هذه القيمة كذلك في حساب بقية المواقيت والمطالب الحسابية. والأفضل أن يعاد حساب قيمة درجة ميل الشمس δ عند وقت كل مطلب من المطالب على حده، وذلك من أجل دقة الحساب.

	UT 00:00	Sun δ
X_1	2025-02-25	-9.077476
X_2	2025-02-26	-8.704421

$$X = X_1 + (UT * (X_2 - X_1) / 24)$$

$$X = -9.077476+(9.0163888 *(-8.704421-(-9.077476))/24)$$

$$\delta_{UT09:00:59} = -8.937325$$

$$h = 90 - |Lat - \delta|$$

$$h = 90 - |29.25 - (-8.937325)|$$

$$h = 51.812675$$

حساب ظل الزوال l_{sh} (طول الشاخص 1m)

$$l_{sh} = l / Tan(h)$$

$$l_{sh} = 1 / Tan(51.812675)$$

$$l_{sh} = 0.78656425\ m$$

ارتفاع العصر ووقته

ارتفاع العصر h_{Asr} هو مقدار ارتفاع الشمس عن الأفق الغربي عند وقت العصر T_{Asr}، ولا يتحصل ذلك الارتفاع إلا بمعرفة ظل العصر l_{Asr}، والتي علامته حين يصير طولُ ظلِّ الشاخص مثله، علاوة على ظل الزوال l_{sh} الذي كان علامة على وقت الظهر.

مثال: - احسب ارتفاع العصر، ووقته يوم 25 فبراير 2025، في الموقع الجغرافي 29.25N, 048E إذا علمت أن ظل الزوال l_{sh} يعادل 0.78656425m، ووقت الزوال $09^h\ 00^m\ 59^s$ UT

حساب ارتفاع العصر h_{Asr} (طول الشاخص 1m)

$$Tan(h_{Asr}) = 1 / l_{Asr}$$

$$Tan(h_{Asr}) = 1 / (1 + 0.78656425)$$

$$h_{Asr} = 29.237204$$

كما يمكن حساب ارتفاع العصر h_{Asr} مباشرة من خلال الصيغة

$$Tan(h_{Asr}) = 1 / (1 + Tan(|Lat - \delta|))$$

$$Tan(h_{Asr}) =1/(1+Tan(|29.25+8.937325|))$$

$$Tan(h_{Asr}) =1/(1+Tan(38.187325))$$

$$Tan(h_{Asr}) =1/1.78656425$$

$$Tan(h_{Asr}) =0.55973357$$

$$h_{Asr} =29.237204$$

عندما تبتعد الشمس وتميل عن نقطة سمت الرأس، وينخفض ارتفاعها، تقطع أشعتها مسارًا أكثر ميلًا، نتيجة لذلك يزداد طول المسافة التي تقطعها هذه الأشعة عبر طبقات الغلاف الجوي ذات الكثافة المختلفة حتى تصل إلينا، وبالتالي تزداد زاوية الانكسار التي تتعرض لها هذه الأشعة لتبدو لنا الشمس في السماء بارتفاع أعلى من ارتفاعها الحقيقي الهندسي. نفس الأمر ينطبق على ارتفاع العصر، إذ لابد من تصحيح هذا الارتفاع قبل استكمال خطوات الحساب من أجل إيجاد موعد صلاة العصر، ويكون ذلك من خلال إضافة قيمة تصحيح الانكسار إلى الارتفاع الحقيقي للزوال، لنحصل على طول ظل ارتفاع الشمس الظاهري عند الزوال بدلاً من ارتفاع الشمس الحقيقي. ثم نحسب درجة الارتفاع الظاهري للعصر، ونحوله مرة أخرى إلى ارتفاع حقيقي للعصر بطرح قيمة تصحيح الانكسار.

قد يفضل البعض وسيلة أبسط لتصحيح درجة ارتفاع العصر، حيث يتاح ذلك من خلال استخدام الصيغة الرياضية التالية: -

$h_{Asr} = h_{Asr} * 1.00065 - 0.0439$

$h_{Asr} = 29.237204 * 1.00065 - 0.0439$

$h_{Asr} = 29.212308$

حساب وقت العصر T_{Asr}

بمعنى آخر، في أي وقت تصل الشمس إلى ارتفاع العصر h_{Asr}، ويتم ذلك عبر حساب قيمة الزاوية الساعية H، وإضافتها إلى وقت الزوال T_{Noon} بعد تحويلها إلى وحدات زمنية، وسنستخدم هنا قيمة الميل δ عند وقت الزوال -8.937325

```
Cos(H) = ( y / x )

y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(δ)

y = Sin(29.212308) - Sin(29.25)
      * Sin(-8.937325)

y = 0.56395640


x = Cos (Lat) Cos (δ)

x = Cos (29.25) Cos (-8.937325)

x = 0.86190292
```

$$Cos(H) = (y / x)$$

$$Cos(H) = (0.56395640 / 0.86190292)$$

$$H = 49.132235$$

وقت العصر T_{Asr}

$$T_{Asr} = T_{Noon} + (H/15)$$

$$T_{Asr} = 09^h\ 00^m\ 59^s + (49.132235/15)$$

$$T_{Asr} = 12^h\ 17^m\ 31^s\ UT$$

ارتفاع وقت الشروق والغروب

إن الارتفاعات المستخرجة بواسطة الحساب الفلكي هي قيم رياضية دقيقة تعتمد على نماذج فلكية نظرية، لكنها ليست كما تُرى من موقع الراصد على سطح الكرة الأرضية. فقد تختلف قليلاً بسبب بعض العوامل المؤثرة خاصة عند الرصد القريب من الأفق.

على الرغم من أن القيمة الافتراضية لارتفاع الشمس وقت الشروق والغروب تعادل -0.833 درجة كقيمة متوسطة، وهو ما تستخدمه معظم التقاويم. إلا أن هناك عدة ارتفاعات أخرى يمكن الاختيار من بينها بحسب مفهومك لظاهرة شروق وغروب الشمس.

0 درجة: مركز قرص الشمس يلامس الأفق.

-0.266: الحافة العليا للشمس تلامس الأفق.

-0.569: مركز الشمس يلامس الأفق، مع مراعاة الانكسار.

-0.833: الحافة العليا للشمس تلامس الأفق، مع مراعاة الانكسار.

لهذا يجب تطبيق مجموعة من التصحيحات المختلفة على قيمة الارتفاع للحصول على قيمة متوافقة لما يراه الراصد فعليًا. ويمكن تلخيص مجموعة تصحيحات الارتفاع على النحو الآتي ذكره.

تصحيح الانكسار

الانكسار R ظاهرة تسبب ظهور الجرم السماوي بارتفاع أعلى مما يجب أن يكون عليه نتيجة انكسار الضوء الصادر منه خلال عبوره لطبقات الغلاف الجوي ذات الكثافة المختلفة، والتي تزداد في الطبقة القريبة من سطح الأرض. حيث يبلغ تأثير انكسار الضوء القادم من الجرم السماوي أقصى حدوده بالقرب من الأفق بينما يقل هذا التأثير كلما زاد ارتفاعه عن الأفق حتى ينعدم عند سمت الرأس.

عند الظروف القياسية حيث درجة الحرارة 10 درجة مئوية، والضغط الجوي 1010 ملي بار، تبلغ القيمة المتوسطة لتصحيح الانكسار عند الأفق 0.5693 درجة بينما في ظروف جوية أخرى يمكن حسابها من خلال الصيغة الرياضية: -

```
R = 0.5693 * ((0.28*p)/(T+273))
```

حيث إن: -

- p قيمة الضغط الجوي بالملي بار
- T قيمة درجة الحرارة بالدرجة المئوية

اختلاف المنظر

هي الزاوية المقاسة عند مركز الجرم السماوي، والمحصورة بين اتجاه الراصد واتجاه مركز الكرة الأرضية، وبما أن الراصد يرصد الارتفاع من على سطح الأرض حيث يقف. فلابد إذًا من أخذ تصحيح اختلاف المنظر P في الاعتبار لتصحيح موقع الجرم السماوي، وجعله مقاساً من سطح الأرض بدلاً من مركزها، ويبلغ هذا التصحيح أقصى قيمة له عندما يكون الجرم السماوي عند الأفق، وتقل قيمته كلما زاد ارتفاع الجرم عن الأفق حتى يتلاشى حين يبلغ ارتفاعه 90°، وتعتبر قيمة اختلاف المنظر P بالنسبة إلى الشمس صغيرة جداً حيث تبلغ في المتوسط مقدار 0.0024 درجة[1].

[1] يُعرف اختلاف المنظر الأفقي بأنه الزاوية بين شعاعين يصلان من الجرم السماوي إلى كل من مركز الأرض وموقع الراصد على سطح الأرض. يُحسب هذا التصحيح عادةً ضمن معادلات حساب الارتفاع الظاهري أو الشروق والغروب. بالنسبة للشمس، حيث بعدها الوسطي ≈ 1 AU، فإن $P \approx 8.794^s \approx 0.0024°$ فقط. تُعد هذه القيمة صغيرة لكنها تدخل في الحسابات الدقيقة.

نصف القطر

تشير جميع الحسابات الفلكية لارتفاعات الأجرام السماوية إلى مراكز هذه الأجرام، وحيث تظهر النجوم والكواكب كنقاط مضيئة في السماء. وبالتالي فإن ارتفاع هذه الأجرام، عند ملاحظتها، يكون ارتفاع مراكزها.

بينما تظهر الشمس بالنسبة إلى الراصد على هيئة قرص مرئي له قطر، وتعتمد قيمة هذا القطر الزاوي على مسافة الشمس من الأرض r، ويعرف نصف القطر SD على أنه الزاوية المقاسة عند عين الراصد والمحصورة بين اتجاه مركز الشمس واتجاه حافتها العليا أو السفلى.

إن موعد شروق وغروب الشمس يحين عند ظهور أو اختفاء الحافة العليا لقرص الشمس على الترتيب، وحيث إن الارتفاع الحقيقي المحسوب للشمس يعبر عن ارتفاع مركزها وليست حافتها يصبح من الضروري حذف قيمة نصف القطر SD للحصول على ارتفاع شروق وغروب الحافة العليا للشمس، وتعتبر القيمة المتوسطة لتصحيح نصف القطر 0.2667 درجة[1].

[1] يُعرف نصف القطر الظاهري للشمس SD أو Semi-diameter بانه نصف الزاوية التي يشغلها قرص الشمس في السماء كما يُرى من الأرض، ويعتمد على البُعد اللحظي بين الأرض والشمس.
عند متوسط المسافة (1 AU) ، يكون القطر الظاهري الكامل ≈ 0.533°، وبالتالي نصف القطر≈0.2667°
يُستخدم هذا التصحيح بشكل روتيني في حسابات الشروق والغروب، لأن الراصد يُلاحظ الحافة العليا للشمس وليس مركزها.

تصحيح الانخفاض

وهو زاوية انخفاض Dip الأفق المرئي أسفل الأفق الحسي، ومقدار هذه الزاوية تتناسب طردياً مع ارتفاع عين الراصد H عن مستوى سطح البحر. فكلما زاد ارتفاع الراصد زادت قيمة زاوية الانخفاض. نتيجة لذلك فإن الراصد الواقع في منطقة تقع فوق مستوى سطح البحر يرى الشمس تشرق قبل الراصد الذي يقع بنفس مستوى سطح البحر، وهو يرى أيضاً الشمس تغرب بالنسبة إليه بعد أن تغرب بالنسبة للراصد الواقع بنفس مستوى سطح البحر. ولهذا السبب يجب حذف هذا التصحيح من قيمة الارتفاع الحقيقي المحسوب، ويمكن حساب قيمة تصحيح الانخفاض Dip بالدرجات القوسية من خلال الصيغة الرياضية: -

```
Dip = 0.0353* sqrt(H)
```

حيث إن: -

H ارتفاع الراصد عن مستوى سطح البحر بالمتر

في بعض المناطق الجغرافية قد يكون الراصد فيها واقعًا في منطقة مرتفعة عن مستوى سطح البحر، وفي نفس الوقت تكون جميع المناطق من حوله مرتفعة هي الأخرى إما بنفس مقدار ارتفاع الراصد، وفي هذه الحالة يظهر الأفق بالنسبة إلى الراصد ممتد بشكل مستوي، فلا يكون هناك حاجة لإضافة تصحيح الانخفاض Dip، أو أن تكون مرتفعة بقدر أقل من ارتفاع الراصد، وفي هذه الحالة تكون قيمة فرق الارتفاعين هي قيمة الارتفاع H الذي يجرى عليه التصحيح، ولا يكون لارتفاعها عن مستوى سطح البحر في هذه الحالة اعتبار[1].

[1] يُطبق تصحيح Dip فقط عندما يكون الأفق المرئي منخفضًا عن الأفق الهندسي نتيجة لارتفاع الراصد عن المحيط، لكن في حال كان الأفق محاطًا بمناطق مستوية أو مرتفعة بنفس المستوى، فإن زاوية Dip تكون معدومة أو محدودة جدًا، وعند وجود مرتفعات جزئية، فإن المهم هو فرق الارتفاع بين الراصد وهذه المرتفعات، وليس الارتفاع المطلق عن سطح البحر.

الارتفاع الهندسي للشروق والغروب	0.0000°	
تصحيح اختلاف المنظر P	0.0024°	+
تصحيح الانكسار الجوي R	0.5693°	-
	0.5669°	-
تصحيح الانخفاض Dip (H=0),	0.0000°	-
تصحيح نصف القطر SD	0.2667°	-
الارتفاع الحقيقي للشروق والغروب	0.8336°	-

هذه هي القيمة المتوسطة للارتفاع الحقيقي التي تُستخدم تقليديًا في أغلب التقاويم الفلكية عند حساب أوقات الشروق والغروب، لأنها تصف النقطة التي يبدأ فيها الشروق المرئي فعليًا، أي عندما تكون الحافة العليا للشمس قد ظهرت.

أما حسابيًا، وعلى اعتبار أن الارتفاع الهندسي لشروق الشمس وغروبها يعادل 0 درجة. فإنه وبناء على ما سبق، تحسب درجة الارتفاع الحقيقي للشمس h لوقت الشروق والغروب على النحو التالي: -

```
h = P - R - SD - Dip

h = P - R - SD -(0.0353*sqrt(H))
```

بتطبيق ذلك على مثال 25 فبراير 2025، وعلى اعتبار ارتفاع الراصد H عن سطح البحر يعادل 5m فإن درجة الارتفاع الحقيقي للشمس h لوقت الشروق والغروب في الظروف الجوية القياسية تكون: -

h = P - R - SD -(0.0353*sqrt(H))

h = (9.066/3600)-0.5693-(16.15/60)

-(0.0353*sqrt(5))

h = 0.0025-0.5693-0.2691-0.0789

h = -0.9148

ولحساب وقت شروق الشمس $T_{Sunrise}$، وغروب الشمس T_{Sunset} في نفس اليوم، بمعنى الوقت الذي تصل فيه الشمس إلى ارتفاع الشروق والغروب. ويتم ذلك عبر حساب قيمة الزاوية الساعية H، والتي يطلق عليها هنا اسم نصف قوس النهار، وإضافتها إلى وقت الزوال T_{Noon} بعد تحويلها إلى وحدات زمنية، للحصول على وقت الغروب أو حذفها من وقت الزوال T_{Noon} للحصول على وقت الشروق، وسنستخدم هنا

قيمة الميل δ **عند وقت الزوال، والتي تعادل** 8.937325-**، وذلك لكونها قيمة محايدة حيث تقع بين وقتي الشروق والغروب.**

```
Cos(H) = ( y / x )

y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(δ)

y = Sin(-0.9148) - Sin(29.25)

    * Sin(-8.937325)

y = 0.05994364


x = Cos (Lat) Cos (δ)

x = Cos (29.25) Cos (-8.937325)

x = 0.86190292

Cos(H) = ( y / x )

Cos(H) = ( 0.05994364 / 0.86190292 )

    H  = 86.011972
```

وقت غروب الشمس T_{Sunset} وهو وقت المغرب

$T_{Sunset} = T_{Noon} + (H/15)$

$T_{Sunset} = 09^h\ 00^m\ 59^s + (86.011972/15)$

$T_{Sunset} = 14^h\ 45^m\ 02^s$ UT

وقت شروق الشمس $T_{Sunrise}$

$T_{Sunrise} = T_{Noon} - (H/15)$

$T_{Sunrise} = 09^h\ 00^m\ 59^s - (86.011972/15)$

$T_{Sunrise} = 03^h\ 16^m\ 56^s$ UT

الشفــق

الشفق عبارة عن ظاهرة ضوئية تتمثل في الضوء الذي يظهر عند الأفق الشرقي قبيل شروق الشمس، وعند الأفق الغربي بعيد غروبها، ويتميز هذا الضوء بميلانه نحو الحمرة.

يحدث الشفق نتيجة انكسار وتشتت ضوء الشمس عند الطبقات العليا للغلاف الجوي للأرض بطريقة تضيء الغلاف الجوي السفلي للأرض وكذلك سطح الأرض. بفعل اصطدام هذا الضوء بالذرات والجزيئات المكونة للغلاف الجوي، بالإضافة إلى الجسيمات المنتشرة فيه مثل الغبار والدخان وبخار الماء وشوائب أخرى عالقة.

إن الضوء الأبيض الذي نراه يتكون في الحقيقة من سبعة ألوان ذات أطوال موجية مختلفة تعرف بألوان الطيف الضوئي، مرتبة تصاعدياً بحسب الطول الموجي على النحو التالي (البنفسجي، الكحلي، الأزرق، الأخضر، الأصفر، البرتقالي، الأحمر)، وتتناسب شدة التشتت الضوئي عكسياً مع طول الموجة.

عندما يمر ضوء الشمس عبر الغلاف الجوي ومع وجود كميات كبيرة من الجزيئات الصغيرة المنتشرة يحدث تشتت للضوء بحيث تتشتت الموجات القصيرة من ألوان الطيف بدرجة أكبر بكثير من الموجات

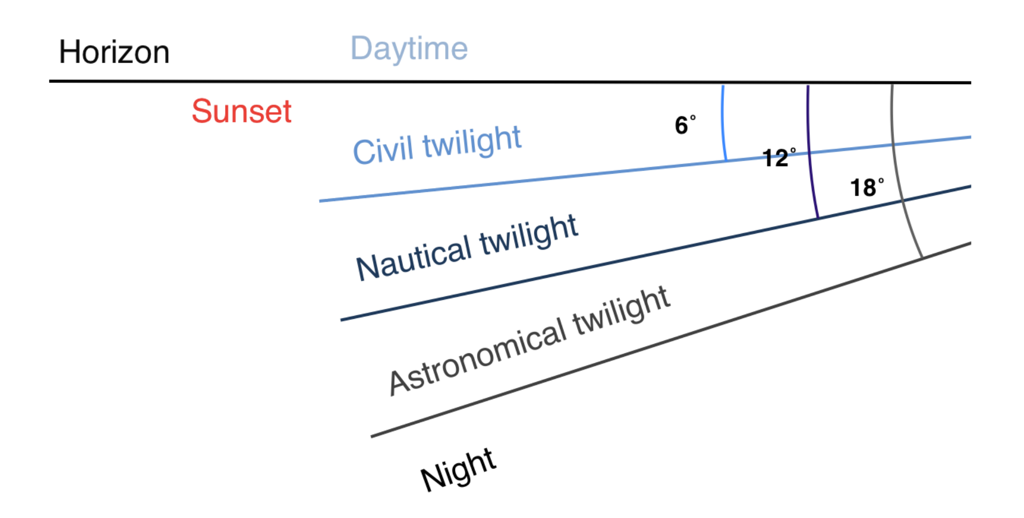
الطويلة، ولهذا السبب فإننا نرى السماء زرقاء في النهار حيث يتشتت وينتشر اللون الأزرق في جميع الاتجاهات.

ما يحدث عند وقت الغروب والشروق حيث تكون الشمس قريبة من الأفق يقطع ضوئها مسافات طويلة، وطبقة أكثر سماكة عبر الغلاف الجوي حتى يصل إلى أعيننا، أطول من أي موقع آخر للشمس خلال تواجدها فوق الأفق، ما يعني تعرض الضوء إلى قدر أكثر من الجزيئات والجسيمات العالقة في الغلاف الجوي.

فيكون اللون الأزرق قد تشتت بقدر كبير وتلاشى بعيداً، ويتعزز هذا التشتت بوجود الجسيمات ذات الأحجام الكبيرة نسبياً كالغبار والتلوث الجوي بالقرب من الأفق، ما يسمح للألوان ذات الطول الموجي الأكبر كالأصفر والبرتقالي والأحمر بالبقاء والوصول إلينا، فتظهر السماء مائلة إلى اللون الأحمر أثناء فترة شروق الشمس وغروبها، وهذا سبب حدوث ظاهرة الشفق[1]. ويحدد علماء الفلك ثلاثة مراحل للشفق، بناءً على درجة ارتفاع الشمس. وهي الشفق المدني والبحري والشفق الفلكي.

---

[1] يحدث تلوّن السماء خلال الشروق والغروب نتيجة تشتت رايلي، وهو ظاهرة بصرية فيزيائية تتسبب في تشتت الضوء المرئي حين يمر عبر جزيئات صغيرة نسبيًا في الغلاف الجوي.
يزداد هذا التشتت كلما زادت المسافة التي يقطعها الضوء عبر الجو، وهذا ما يحدث عندما تكون الشمس منخفضة جدًا على الأفق.
اللون الأزرق (قصير الموجة) يتشتت أولًا، في حين تبقى الألوان الأطول موجة كالأحمر والبرتقالي.
وتُقسم مراحل الشفق حسب موقع الشمس تحت الأفق، ويُستخدم هذا التقسيم في الحسابات الفلكية، والملاحة، وتحديد أوقات الصلاة، وغيرها.



الشفق المدني Civil twilight: هو الفترة الزمنية التي يكون فيها المركز الهندسي للشمس بين الأفق و6 درجات أسفل الأفق.

خلال فترة الشفق المدني يكون هناك ما يكفي من الضوء لتمييز الأشياء وممارسة الأنشطة في الخارج دون الحاجة إلى مصدر إضاءة اصطناعي، ويظهر خط الأفق بشكل واضح، وتحت ظروف جوية مناسبة يمكن مشاهدة مجموعة من ألمع النجوم في السماء، وبعض الكواكب مثل كوكب الزهرة (ومن هنا جاءت تسمية نجمة الصباح والمساء)، وكذلك كوكب المريخ.

الشفق الملاحي Nautical twilight: يحدث الشفق البحري عندما يكون المركز الهندسي للشمس بين 12 درجة و6 درجات أسفل الأفق.

تظل إضاءة الشمس عند الأفق ظاهرة، ويمكن تمييز خط الأفق بشكل جيد خلال هذه الفترة ما يسمح للملاحين بأخذ رصدات النجوم اللامعة باستخدام آلة السدس، ومن هنا جاءت تسمية الشفق الملاحي.

عند نهاية الشفق الملاحي المسائي تكون رؤية الأشياء بشكل عام جيدة دون القدرة على معرفة تفاصيلها الدقيقة، ويبدأ خط الأفق بالتلاشي تدريجياً كما تبدأ الحاجة إلى استخدام الأضواء الاصطناعية في الشوارع والمباني داخل المدن.

الشفق الفلكي Astronomical twilight: يتم تعريف الشفق الفلكي بأنه عندما يكون المركز الهندسي للشمس بين 18 درجة و12 درجة أسفل الأفق.

تبدأ السماء خلال فترة الشفق الفلكي المسائي بالتحول تدريجيا إلى اللون الأزرق الداكن فتتلاشى ألوان الشفق.

وتتحول إلى اللون الأسود عند بداية الليل، حيث يختفي خط الأفق فلا يمكن تمييزه. في حين تكون رؤية النجوم وبقية الأجرام السماوية ممكنة

بالعين المجردة، وعند نهاية فترة الشفق الفلكي المسائي تكون السماء معتمة، ومظلمة تماماً بحيث لا يمكن معها رؤية الأشياء من حولك دون استخدام إضاءة اصطناعية.

أما أهل الشرع فقد اختلفوا في الشفق ما هو، فمذهب جمهور أهل العلم أن الشفق هو الحمرة الباقية إثر غروب الشمس، وذهب بعضهم إلى أن الشفق هو بياض يكون بعد تلك الحمرة. وقد يكون المراد بالشفق الأحمر هو مجموع الحمرة والبياض المتعاقبين.

ولبيان ذلك نقول انه وبعد غروب الشمس مباشرة أسفل الأفق، يظهر الضوء المنبعث منها بلون أحمر أو أحمر مصفر، ويسمى بالشفق الأحمر، وتظل الشمس تنخفض تحت الأفق تدريجيا فتضمحل هذه الألوان، وتقل إضاءة السماء حتى لا يبقى سوى ضوء أبيض معترض أفقيًا على الأفق يسمى بالشفق الأبيض، ومع استمرار انخفاض الشمس أسفل الأفق يبدأ الشفق الأبيض المعترض بالتلاشي تدريجيا، حتى لا يبقى في السماء سوى ضوء ابيض ممتد رأسياً على الأفق يسمى الضوء البروجي الذي يبقى مدة من الليل. وضوء الشفق يقل بالتدريج من لحظة غروب الشمس حتى غياب الشفق الأحمر ثم الأبيض، وتتداخل ألوانه بعضها ببعض ليلغي اللاحق منها السابق.

وحال الفجر بعكس حال العشاء، فقبل شروق الشمس يظهر الشفق الأبيض أولاً، وهو الضوء الأبيض المنتشر في الأفق جهة الشرق، وهو ما يسمى بالفجر، يعقبه ظهور الشفق الأحمر ثم شروق الشمس. فالبياض يظهر قبل الشفق الأحمر في الفجر، بينما الشفق الأحمر يضمحل ويتلاشى قبل البياض في العشاء.

وقد خص الشرع الفجر بمزيد من العناية والاهتمام لارتباطه ببعض العبادات، وما يترتب عنه من أحكام. فقد قسم الفجر إلى فجر كاذب وفجر صادق، الأول لا يترتب عليه شيء من الأمور الشرعية أبدا، فالأحكام مرتبة على الفجر الثاني. وعلامة الفجر الأول البياض الممتد طولا من الشرق إلى المغرب، فهو ضوء أبيض باهت يظهر في جهة الشرق قبل حلول الفجر الصادق على شكل مثلث قاعدته على الأفق ورأسه إلى أعلى، ويسمى فلكيا بالضوء البروجي، وهو يظهر أيضا في جهة الغرب بعد انتهاء الشفق كما ذكرنا سالفا. بينما علامة الفجر الثاني هو البياض المعترض من الشمال إلى الجنوب.

ووقت صلاة العشاء يبدأ من وقت غياب الشفق الأحمر عند الأفق الغربي، ووقت صلاة الفجر يبدأ من ظهور البياض المنتشر عرضاً في الأفق الشرقي وهو الفجر الصادق.

يتضح مما سبق بأن محور البحث هنا ليس ارتفاع الشمس، وتقسيمه إلى درجات محددة، إنما هو متعلق بطبيعة الضوء الذي في السماء، وعلى الرغم من أن درجة ارتفاع الشمس ستؤثر على كمية الضوء، إلا أن الشفق والظواهر الضوئية المرافقة له، تكون عرضة للتحول والتغير بشكل مستمر. اعتمادًا على الكثير من الظروف الجوية والفلكية والجغرافية. ففي كثير من الأوقات قد لا تظهر ألوان الشفق بالوصف المذكور سالفا، وإن ظهرت فقد لا تظهر بالشكل الواضح والمثالي لألوان الشفق، وكذلك بمدة بقاء تلك الألوان.

فهناك عوامل عدة تساهم في تشكيل الظواهر الضوئية المصاحبة للشفق منها ضوء النجوم والكواكب في مجرتنا، والضوء البروجي، والشفق القطبي، وتوهج الهواء الليلي، وطور القمر، والتلوث الضوئي بنوعية الطبيعي والاصطناعي. بالإضافة إلى كمية الجسيمات العالقة، وبخار الماء في الغلاف الجوي، وظروف الطقس من درجة الحرارة والضغط الجوي، وكمية السحب، وكذلك الفصل من السنة. وعليه ستختلف ظروف رؤية الظواهر الضوئية المصاحبة للشفق بشكل كبير من موقع إلى آخر، ومن موسم إلى آخر، ومن ليلة إلى أخرى، وهذا يفسر الاختلافات في النتائج المشاهدة.

ارتفاع وقت الفجر والعشاء

صعُب في زمننا هذا رصد أول بزوغ الفجر الصادق، أو لحظة غياب الشفق الأحمر بشكل يومي، ولا يمكن في عصرنا الحادث أن نراقب الفجر والعشاء في أكثر المناطق التي يعيش فيها الناس. وهذا يحوجنا إلى استخدام الحسابات الفلكية ووضع التقاويم في تحديد وقت هاتين الصلاتين. وقد حدد جمهور المتقدمين من علماء الفلك العرب والمسلمين درجة ارتفاع الشمس لوقت الفجر الصادق ما بين 18 و19 درجة أسفل الأفق الشرقي، بينما حددوا درجة ارتفاع الشمس لوقت العشاء ما بين 17 و18 درجة أسفل الأفق الغربي. ويرجح هذا الأخير الرأي القائل بان المراد بالشفق الأحمر هو الحمرة والبياض معاً.

وتبعهم في هذا، المتخصصون من علماء الفلك والشريعة عبر القرون المتطاولة، وعلى ذلك قامت التقاويم المبنية وفق الحسابات الفلكية الحديثة، وهي على غاية من الضبط والدقة. ونذكر فيما يلي أشهر القيم المعتمدة لدرجة ارتفاع الشمس عند وقت الفجر والعشاء في بعض المنظمات والهيئات والدول الإسلامية.

- الهيئة المصرية العامة للمساحة: الزاوية 19.5- للفجر، والزاوية 17.5- للعشاء.
- رابطة العالم الإسلامي: الزاوية 18- للفجر، و 17- للعشاء.
- وزارة الشئون الإسلامية (دولة الكويت): الزاوية 18- للفجر، والزاوية 17.5- للعشاء.
- تقويم أم القرى (المملكة العربية السعودية): الزاوية 18.5- للفجر، ويحسب العشاء بعد 90 دقيقة زمنية من غروب الشمس. عدا في رمضان يحسب بعد 120 دقيقة زمنية من غروب الشمس.
- جامعة الدراسات الإسلامية في كراتشي: الزاوية 18- للفجر، والزاوية 18- للعشاء.

ولحساب وقت الفجر T_{Fajr}، ووقت العشاء T_{Isha}، بمعنى الوقت الذي تصل فيه الشمس إلى درجة ارتفاع الشمس h لوقت الفجر والعشاء. حيث يتم ذلك من خلال حساب قيمة الزاوية الساعية H، وإضافتها إلى وقت الزوال T_{Noon} بعد تحويلها إلى وحدات زمنية، للحصول على وقت العشاء أو حذفها من وقت الزوال T_{Noon} للحصول على وقت الفجر.

بتطبيق ذلك على مثال 25 **فبراير** 2025**، باعتبار درجة ارتفاع الشمس** h **لوقت الفجر والعشاء تعادل الدرجة** 18-**، وقيمة الميل** δ **عند وقت الزوال تعادل** 8.937325-**، وهي قيمة محايدة بالنسبة لوقتي الفجر والعشاء، في الموقع الجغرافي** 29.25N, 048E

```
Cos(H) = ( y / x )

y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(δ)

y = Sin(-18) - Sin(29.25)

    * Sin(-8.937325)

y = -0.23310775


x = Cos (Lat) Cos (δ)

x = Cos (29.25) Cos (-8.937325)

x = 0.86190292
```

$$Cos(H) = (y / x)$$

$$Cos(H) = (-0.23310775 / 0.86190292)$$

$$H = 105.691468$$

حساب وقت العشاء T_{Isha}

$$T_{Isha} = T_{Noon} + (H/15)$$

$$T_{Isha} = 09^h\ 00^m\ 59^s + (105.691468/15)$$

$$T_{Isha} = 16^h\ 03^m\ 45^s\ UT$$

حساب وقت الفجر T_{Fajr}

$$T_{Fajr} = T_{Noon} - (H/15)$$

$$T_{Fajr} = 09^h\ 00^m\ 59^s - (105.691468/15)$$

$$T_{Fajr} = 01^h\ 58^m\ 13^s\ UT$$

جاءت نتائج حسابات المطالب السابقة بالتوقيت العالمي UT : -

T_{Fajr}	$T_{sunrise}$	T_{Noon}
01:58:13	03:16:56	09:00:59
T_{Asr}	T_{sunset}	T_{Isha}
12:17:31	14:45:02	16:03:45

لاحظ أننا استخدمنا هنا قيمة مصححة لمعادلة الوقت Eq عند حساب وقت الزوال، بينما اختصارًا للجهد والوقت لم نصحح درجة الميل δ مع بقية المواقيت، واكتفينا بقيمة محايدة محسوبة عند وقت الزوال على اعتبار أنها قيمة درجة الميل عند منتصف اليوم، وهذا من شأنه التسبب بوقوع خطأ طفيف في المواقيت قد يصل أحيانًا إلى 25 ثانية زمنية[1]. لذا عليك أن تقوم بتصحيح درجة ميل الشمس δ عند كل المواقيت السابقة مستخدمًا طريقة الاستيفاء، وإعادة حساب المواقيت مرة أخرى بنفس الخطوات السابقة للحصول على نتائج حسابية بدقة أكبر.

---

[1] تتغير درجة ميل الشمس δ خلال اليوم بمقدار صغير لكنه غير مهمل، خصوصًا حول أيام الاعتدالين حيث يكون تغيره اليومي أسرع نسبيًا.
الاكتفاء بقيمة δ عند الزوال يُناسب الحسابات التقريبية، لكنه يُنتج فروقًا زمنية قد تصل إلى 25 ثانية في بعض المواقع والفصول. لمعالجة ذلك، تُستخدم طريقة الاستيفاء الخطي لحساب δ عند ساعة معينة.

ضبط المواقيت

يتناول هذا الجزء من الكتاب شرحًا مفصّلًا لكيفية ضبط وتحسين دقة حساب مواقيت الصلاة، خصوصًا في المناطق ذات خطوط العرض العالية، حيث تصبح التقريبات الحسابية البسيطة غير كافية بسبب طبيعة حركة الشمس الظاهرية في تلك المناطق.

في حساب المواقيت الفلكية الأساسية، نستطيع أن نحصل على تلك المواقيت بحساب الزاوية الساعية H، والافتراض بأن الشمس تتحرك بسرعة زاوية ثابتة في السماء، فهذه الطريقة التقليدية تفترض أن الشمس تتحرك بسرعة ثابتة (15 درجة لكل ساعة)، وهذا تقدير غير دقيق، بالرغم من أن هذه الطريقة تعطي نتائج جيدة. إلا أن الشمس تتحرك بسرعة متغيرة، ما يُحدث انحرافًا في قيمة الزاوية الساعية H التي تُحسب منها المواقيت بإضافتها أو حذفها من وقت الظهر، مما يؤدي إلى وقوع أخطاء في مواقيت الصلاة تصل أحيانًا إلى دقائق زمنية، خصوصًا في المناطق ذات خطوط العرض العليا والقطبية. وهنا تأتي الحاجة إلى تطبيق طريقة التكرار العددي Iteration بدلًا من الحساب التقريبي، لتحسين دقة الحساب والوصول إلى نتائج أكثر موثوقية.

عند تطبيق طريقة التكرار العددي، نقوم بقسمة قيمة الزاوية الساعية H على 15.04107 بدلاً من 15، على اعتبار أن اليوم الشمسي أطول قليلًا من اليوم النجمي، وبعد أن نحسب مواقيت الصلاة، نعيد استخراج قيمة ميل الشمس عند كل وقت من هذه المواقيت المبدئية، من خلال استخدام طريقة الاستيفاء. ثم نعود لحساب الزاوية الساعية H مرة أخرى. ونكرر حتى تستقر المواقيت بحيث تتوقف عن التغير بشكل ملحوظ. حينئذ نقسم الزاوية الساعية H على 15، ونكمل الحساب لاستخراج مواقيت الصلاة بدقة عالية. بمعنى أننا نقسم الزاوية الساعية على 15 فقط عند الاكتفاء من تطبيق طريقة التكرار العددي. عادةً تكفي دورة واحدة من التكرار، وأحيانًا تحتاج إلى ثلاث أو أربع دورات تكرارية حتى تستقر المواقيت.

في بعض حالات المناطق ذات خطوط العرض العليا والقطبية، يكون من المتوقع أن تلاحظ مواقيت غير اعتيادية للشمس، فقد تحصل على وقت الشروق أو الفجر بقيمة سالبة مثل ‎-0.5‎ ساعة، أي أن ذلك حدث في اليوم السابق، أو قد تحصل على وقت الغروب أو العشاء بقيمة أكثر من 24 ساعة، أي أن ذلك سيحدث في اليوم التالي. لهذا عليك التأكد من تحديد اليوم والتاريخ الصحيحين بناءً على سياق الحدث الذي تحسبه.

كذلك في حالات أخرى مرتبطة بالمناطق ذات خطوط العرض العليا والقطبية، قد لا تشرق الشمس خلال اليوم أبدًا (ليل قطبي)، أو قد لا تغرب أبدًا (شمس منتصف الليل)، وفي حالات نادرة، وبفعل عامل الانكسار قد تشرق الشمس نظريًا في نفس اليوم مرتين أو أن تغرب مرتين، يحدث هذا عندما تكون الشمس قريبة جدًا من الأفق، فتشرق لفترة قصيرة، ثم تغرب، ثم تعود لتشرق مرة أخرى لاحقًا في نفس اليوم. كذلك بالنسبة لارتفاعات مواقيت العشاء والفجر، فقد لا تبلغ الشمس هذه الارتفاعات خلال اليوم.

يمكننا استنتاج إمكانية حدوث ذلك أثناء الحساب، من خلال تحليل قيمة جيب تمام الزاوية الساعية Cos (H)، وبناءً قيمتها، نحكم على حالة الشمس بالنسبة للأفق أو لأي ارتفاع آخر مطلوب.

الحالة الأولى: إذا كانت Cos (H) > +1.0

هذه حالة مستحيلة رياضيًا، لكنها تعني أن الشمس لا تبلغ أبدًا هذا الارتفاع المحدد خلال اليوم، فتكون دائمًا أسفل منه. فإذا كنت تحسب للشروق والغروب فهذا يعني بأن الشمس لن تشرق في هذا اليوم، وإذا كنت تحسب للفجر والعشاء فهذا يعني بأن الشمس لن تبلغ هذا الارتفاع أبدًا بالدرجة المطلوبة، وستظل أسفل منه.

الحالة الثانية: إذا كانت $Cos(H) < -1.0$

تعني أن الشمس دائمًا أعلى الارتفاع المحدد، فإذا كنت تحسب للشروق والغروب فهذا يعني بأن الشمس لن تغرب في هذا اليوم، وإذا كنت تحسب للفجر والعشاء فهذا يعني بأن الشمس لن تبلغ هذه الارتفاع أبدًا بالدرجة المطلوبة، وستظل أعلى منه.

الحالة الثالثة: إذا كانت $+1.0 \geq Cos(H) \geq -1.0$

يمكن حساب مواقيت الصلاة فعليًا، وكذلك بقية المواقيت بدرجة الارتفاع المطلوبة، وهذا هو الحال المعتاد في أغلب مناطق العالم، خاصة في المناطق الاستوائية، والمناطق ذات خطوط العرض المدارية.

تعتمد هذه الحالات على عاملين أساسيين يؤثران في حركة الشمس الظاهرية وموقعها في السماء خلال العام، وهما درجة ميل الشمس الذي يتغير تدريجيًا على مدار السنة، وخط العرض الجغرافي للراصد.

التغير في قيمة درجة ميل الشمس δ على مدار السنة، حيث يبدأ من الصفر في يوم الاعتدال الربيعي، ثم يرتفع تدريجيًا ليبلغ أقصى قيمة موجبة عند 23.436 درجة تقريبًا في يوم الانقلاب الصيفي، حيث تكون الشمس عمودية على مدار السرطان. بعد ذلك ينخفض الميل تدريجيًا ليعود إلى الصفر مرة أخرى في يوم الاعتدال الخريفي، ثم يستمر

بالانخفاض حتى يصل إلى أقصى قيمة سالبة 23.437- درجة في يوم الانقلاب الشتوي، حينما تكون الشمس عمودية على مدار الجدي.

لحظة عبور الشمس دائرة الزوال، يكون ارتفاعها الزوالي الأقصى h_{max}، والذي قد يحدث في وقت منتصف النهار محسوبًا بالعلاقة:

$$h_{max} = 90 - | Lat - \delta |$$

أما أقصى انخفاض للشمس h_{min}، والذي قد يحدث في وقت منتصف الليل، فيُحسب من العلاقة:

$$h_{min} = - (90 - | Lat + \delta |)$$

يمكنك استخدام هاتين المعادلتين باعتبارهما حدين فلكيين لاكتشاف وتحليل الظواهر الشمسية التي قد تحدث في خطوط العرض العليا، وذلك على النحو التالي: -

إذا كانت $h_{max} < -0.833°$ فإن الشمس لن تشرق (ليل قطبي)

وإذا كانت $h_{min} > -0.833°$ فإن الشمس لن تغرب (نهار دائم)

أما إذا كانت $h_{min} > -18°$ فلن يحدث الفجر أو العشاء الفلكي

بهذه الطريقة تُستخدم المعادلتان كأدوات بسيطة وفعالة لاكتشاف الظواهر الفلكية الحرجة، قبل الشروع في حساب المواقيت.

كما يمكن تقسيم الكرة الأرضية اعتمادًا على هذه الحدود إلى ثلاث مناطق فلكية رئيسية[1]: -

المنطقة العادية (حتى °48.6 تقريبًا): تحدث فيها جميع الظواهر اليومية دون انقطاع طوال السنة.

المنطقة الانتقالية (بين °48.6 و°66.6): تختفي فيها علامات الفجر أو العشاء في بعض أيام السنة فقط.

المنطقة القطبية (فوق °66.6): تختفي فيها جميع الظواهر لأسابيع أو أشهر، وتظهر ظواهر شمس منتصف الليل، والليل القطبي.

ويساهم هذا الفهم في تحديد المناطق ذات الظروف الفلكية الحرجة، خاصة تلك التي تقع عند خطوط العرض العليا، حيث تختل فيها بعض الظواهر الشمسية المرتبطة بمواقيت الصلاة، ورغم أن هذه الظواهر منشؤها فلكي بحت، إلا أن حلّ الإشكال لا يكون فلكيًا فقط، بل يُرجع إلى الاجتهاد الشرعي المبني على إدراك الواقع وتنزيل الحكم عليه.

[1] هذا التقسيم يُستخدم في علم المواقيت لحل إشكالات اختفاء الظواهر، مثل عدم طلوع الفجر أو عدم غروب الشمس. وفي هذه الحالات تُعتمد اجتهادات شرعية، مثل التقدير بالقياس على أقرب بلد معتدل، أو التقدير النسبي، كما نصت عليه هيئات الفتوى، وقرارات المجامع الفقهية، أو تقديرات أخرى.

مطالع الشمس

قوس من دائرة الاستواء السماوي فيما بين دائرتين من دوائر الزوال إحداهما مارة بنقطة الاعتدال الربيعي، والأخرى بدرجة الشمس أو بالدرجة المطلوب مطالعها. ويمكن تقسيمها على النحو التالي: -

مطالع الشمس المستقيمة: عبارة عن الوقت النجمي الماضي من حين توسط نقطة الاعتدال الربيعي على خط الزوال إلى حين توسط درجة الشمس، ولهذا تسمى مطالع الزوال أو التوسط، وتسمى كذلك المطالع الفلكية لعدم اختلافها باختلاف العروض الجغرافية، ولأنها هي نفسها المطالع البلدية في البلدان التي تنعدم عندها قيمة خط العرض الجغرافي، وهي كذلك نفسها المطلع المستقيم للشمس، الذي تتساوى قيمته مع قيمة الوقت النجمي عند وقت الزوال. فهي وقت زوال الشمس محول إلى وقت نجمي.

$\theta_G = \alpha - \text{Long}$

مطالع الشمس البلدية: سميت البلدية لارتباطها بخط العرض الجغرافي للبلد الموضوعة له، فلكل خط عرض مطالعة البلدية الخاصة به.

وتسمى كذلك بالمطالع المائلة لان الشمس ترى سائرة في السماء على مدارات مائلة. ومنها مطالع الشروق، ومطالع الغروب، ومطالع الوقت.

مطالع الشروق: عبارة عن الوقت النجمي الماضي من حين توسط نقطة الاعتدال الربيعي إلى حين شروق درجة الشمس، وهي وقت شروق الشمس محول إلى وقت نجمي.

$$\theta_G = \alpha - Long - H$$

مطالع الغروب: عبارة عن الوقت النجمي الماضي من حين توسط نقطة الاعتدال الربيعي إلى حين غروب درجة الشمس، وهي وقت غروب الشمس محول إلى وقت نجمي.

$$\theta_G = \alpha - Long + H$$

مطالع الوقت: عبارة عن الوقت النجمي الماضي من حين توسط نقطة الاعتدال الربيعي إلى حين الوقت المفروض أو درجة الشمس المفروضة، وتسمى كذلك مطالع الطالع، وتستعمل في استخراج مواقيت الليل والنهار، من مثل مواقيت الصلاة، وهي نفسها الوقت النجمي.

$$\theta_G = \alpha - Long \pm H$$

حساب مواقيت الصلاة بطريقة المطالع

قدمنا أن مطالع الشمس هي أزمنه درجتها المفروضة مقاسة بالوقت النجمي، فعندما نسمع مصطلح المطالع المستقيمة أو مطالع الشروق أو مطالع الغروب، فالمقصود هنا على الترتيب زمن التوسط، وزمن الشروق، وزمن الغروب بالتوقيت النجمي. والدورة النجمية اليومية تعينها نقطة الاعتدال الربيعي أو أي نجم من الثوابت عند درجة محددة من الفلك، فكلما مرت بها كان ما بين مرورها مرة وأخرى دورة نجمية أو يوم نجمي، كمرورها على خط الزوال أو شروقها أو غروبها مرة وأخرى، كان الوقت المحصور بين المرورين المتتاليين يعادل يومًا نجميًا كاملاً، وهي فترة زمنية ثابتة تعادل $23^h\ 56^m\ 4.0905^s$، أما الشمس فمن وقت مرورها مرة إلى مرورها مرة أخرى تكون قد تحركت في مدارها حركة انتقالية بمقدار 0.9856 درجة في المتوسط، وبذلك تكون دورتها اليومية الظاهرية أكبر قليلاً من الدورة النجمية اليومية، وهذا ما يفسر الاختلاف بين مطالع الشمس من جهة ومطالع النجوم من جهة أخرى ما بين يوم وآخر، ولذلك كان لابد من استخدام توقيت نجمي ثابت ليكون أساساً لحساب المواقيت.

ولما كانت مواقيت الصلاة تحدد بأمارات ثابتة جعلها الشرع دليلا عليها، وإن اختلفت مواقيتها من مكان إلى مكان، ومن زمان إلى زمان، فلكل بلد مواقيته بحسب مطالعه، فإنها جميعًا تحسب باستخدام مطالع درجة الشمس. ولحساب مواقيت الصلاة الشرعية باستخدام مطالع الشمس، فإننا سنكون بحاجة إلى قيمة كل من المطلع المستقيم للشمس α مقاسة بالوحدات الزمنية، ودرجة ميلها δ لليوم المفروض واليوم التالي له، بالإضافة إلى قيمة الوقت النجمي θ_G لليوم المفروض. على أن تكون جميعها محسوبة عند بداية اليوم $00:00$ UT، ثم سنحسب الزاوية الساعية H لليوم المفروض واليوم التالي له، بعد أن نقوم بتحديد درجة ارتفاع الشمس h للوقت المطلوب، ومنها نحسب مطالع درجة الشمس لكلا اليومين، ونقوم بضبطها وفق قاعدتين نأتي على ذكرهما، ثم نقوم بعد ذلك بتعديل حركة مطالع الشمس للحصول على الوقت النجمي لدرجة الشمس، والذي نقوم أخيرًا بتحويله إلى التوقيت العالمي UT لدرجة الشمس المطلوبة.

وسنبدأ على غير عادة بوقت صلاة المغرب، إذ إن العرب فرضت أول اليوم من لدن غروب الشمس عن الأفق إلى غروبها من الغد، فصارت الليلة عندهم قبل النهار، والذي دعاهم إلى ذلك هو أن شهورهم مقيدة برؤية الأهلة، وهي ترى لدى غروب الشمس.

مثال: - احسب مواقيت الصلاة الشرعية يوم 25 **فبراير** 2025**، في دولة الكويت** 29.25N, 048.00E **على اعتبار ارتفاع الراصد** H **عن سطح البحر يعادل** 5m**، وفي الظروف القياسية من الضغط الجوي ودرجة الحرارة. إذا علمت أن: -**

UT 00:00	Sun α	Sun δ	θ_G
25	$22^h\ 33^m\ 30^s$	-9.077476	$10^h\ 20^m\ 27^s$
26	$22^h\ 37^m\ 17^s$	-8.704421	

نبدأ بحساب درجة ارتفاع الشمس h **عند وقت الغروب**

h = P - R - SD -(0.0353*sqrt(H))

h = (9.066/3600)-0.5693-(16.15/60)

-(0.0353*sqrt(5))

h = 0.0025-0.5693-0.2691-0.0789

h = -0.9148

نحسب نصف قوس النهار، وهي الزاوية الساعية H ليوم 25 فبراير وسنرمز لها بالرمز H_1، ويوم 26 فبراير وسنرمز لها بالرمز H_2.

$$Cos(H_1) = (y / x)$$

$$y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(\delta)$$

$$y = Sin(-0.9148) - Sin(29.25) * Sin(-9.077476)$$

$$y = 0.06112412$$

$$x = Cos (Lat) Cos (\delta)$$

$$x = Cos (29.25) Cos (-9.077476)$$

$$x = 0.86156878$$

$$Cos(H_1) = (y / x)$$

$$Cos(H_1) = (0.06112412 / 0.86156878)$$

$$H_1 = 85.931725$$

$$H_1 = 05^h 43^m 44^s$$

$$Cos(H_2) = (y / x)$$

$$y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(\delta)$$

$$y = Sin(-0.9148) - Sin(29.25) * Sin(-8.704421)$$

$$y = 0.05798092$$

$$x = Cos (Lat) Cos (\delta)$$

$$x = Cos (29.25) Cos (-8.704421)$$

$$x = 0.86244678$$

$$Cos(H_2) = (y / x)$$

$$Cos(H_2) = (0.05798092 / 0.86244678)$$

$$H_2 = 86.145188$$

$$H_2 = 05^h\ 44^m\ 35^s$$

نحسب مطالع الغروب θ_{sunset} **ليوم** 25 **فبراير وسنرمز لها بالرمز** θ_1، **ويوم** 26 **فبراير وسنرمز لها بالرمز** θ_2.

$\theta_1 = \alpha - Long + H_1$

$\theta_1 = 22^h\ 33^m\ 30^s - (048.00/15) + 05^h\ 43^m\ 44^s$

$\theta_1 = 01^h\ 05^m\ 14^s$

$\theta_2 = \alpha - Long + H_2$

$\theta_2 = 22^h\ 37^m\ 17^s - (048.00/15) + 05^h\ 44^m\ 35^s$

$\theta_2 = 01^h\ 09^m\ 52^s$

نقوم بضبط قيمة المطالع وفقًا للقاعدتين التاليتين: -

$\theta_1 > \theta_2 \quad \rightarrow \quad \theta_2 = \theta_2 + 24^h$

$\theta_1 < \theta_G \quad \rightarrow \quad \theta_2 = \theta_2 + 24^h \ \& \ \theta_1 = \theta_1 + 24^h$

$\theta_1 = 01^h\ 05^m\ 14^s + 24^h = 25^h\ 05^m\ 14^s$

$\theta_2 = 01^h\ 09^m\ 52^s + 24^h = 25^h\ 09^m\ 52^s$

نقوم بتعديل حركة المطالع بين يومي 25 فبراير، و26 فبراير للحصول على مطالع الغروب θ_{sunset} للوقت المطلوب.

$\theta_{sunset} = (y / x)$

$Y = (24.07*\theta_1)-\theta_G*(\theta_2-\theta_1)$

$X = 24.07+\theta_1-\theta_2$

$Y = (24.07*25^h\ 05^m\ 14^s)-10^h\ 20^m\ 27^s$
$*(25^h\ 09^m\ 52^s-25^h\ 05^m\ 14^s)$

$Y = 603.0508968$

$X = 24.07+25^h\ 05^m\ 14^s-25^h\ 09^m\ 52^s$

$X = 23.9927778$

$\theta_{sunset} = (y / x)$

$\theta_{sunset} = (603.0508968 / 23.9927778)$

$\theta_{sunset} = 25^h\ 08^m\ 05^s$

بعد حساب قيمة مطالع الشمس θ_{sunset}، وهو وقت غروب الشمس بالتوقيت النجمي، نقوم بتحويله إلى التوقيت العالمي UT

$$T_{sunset} = \theta_{sunset} - \theta_G$$

$$T_{sunset} = 25^h\ 08^m\ 05^s - 10^h\ 20^m\ 27^s$$

$$T_{sunset} = 14^h\ 47^m\ 38^s \quad (\div 1.00273791)$$

$$T_{sunset} = 14^h\ 45^m\ 12^s\ UT$$

إذًا وقت صلاة المغرب يوم 25 فبراير 2025 في دولة الكويت يحين تمام الساعة $14^h\ 45^m\ 12^s$ UT

باعتبار درجة ارتفاع الشمس 18- لوقت العشاء، وبنفس الخطوات السابقة نحسب قوس العشاء وهي الزاوية الساعية H ليوم 25 فبراير وسنرمز لها بالرمز H_1، ويوم 26 فبراير وسنرمز لها بالرمز H_2.

$Cos(H_1) = (y / x)$

$y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(\delta)$

$y = Sin(-18) - Sin(29.25)$

$* Sin(-9.077476)$

$y = -0.23192727$

$x = Cos (Lat) Cos (\delta)$

$x = Cos (29.25) Cos (-9.077476)$

$x = 0.86156878$

$Cos(H_1) = (y / x)$

$Cos(H_1) = (-0.23192727 / 0.86156878)$

$H_1 = 105.616181$

$H_1 = 07^h\ 02^m\ 28^s$

$Cos(H_2) = (y / x)$

$y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(\delta)$

$y = Sin(-18) - Sin(29.25)$

$* Sin(-8.704421)$

$y = -0.23507047$

$x = Cos (Lat) Cos (\delta)$

$x = Cos (29.25) Cos (-8.704421)$

$x = 0.86244678$

$Cos(H_2) = (y / x)$

$Cos(H_2) = (-0.23507047 / 0.86244678)$

$H_2 = 105.816795$

$H_2 = 07^h 03^m 16^s$

نحسب مطالع درجة العشاء θ_{Isha} ليوم 25 فبراير وسنرمز لها بالرمز θ_1، ويوم 26 فبراير وسنرمز لها بالرمز θ_2.

$\theta_1 = \alpha - Long + H_1$

$\theta_1 = 22^h\ 33^m\ 30^s - (048.00/15) + 07^h\ 02^m\ 28^s$

$\theta_1 = 02^h\ 23^m\ 58^s$

$\theta_2 = \alpha - Long + H_2$

$\theta_2 = 22^h\ 37^m\ 17^s - (048.00/15) + 07^h\ 03^m\ 16^s$

$\theta_2 = 02^h\ 28^m\ 33^s$

نقوم بضبط قيمة المطالع وفقًا للقاعدتين التاليتين: -

$\theta_1 > \theta_2 \rightarrow \theta_2 = \theta_2 + 24^h$

$\theta_1 < \theta_G \rightarrow \theta_2 = \theta_2 + 24^h \ \& \ \theta_1 = \theta_1 + 24^h$

$\theta_1 = 02^h\ 23^m\ 58^s + 24^h = 26^h\ 23^m\ 58^s$

$\theta_2 = 02^h\ 28^m\ 33^s + 24^h = 26^h\ 28^m\ 33^s$

نقوم بتعديل حركة المطالع بين يومي 25 **فبراير، و**26 **فبراير للحصول على مطالع درجة العشاء** θ_{Isha} **للوقت المطلوب.**

$$\theta_{Isha} = (y / x)$$

$$Y = (24.07*\theta_1)-\theta_G*(\theta_2-\theta_1)$$

$$X = 24.07+\theta_1-\theta_2$$

$$Y = (24.07*26^h\ 23^m\ 58^s)-10^h\ 20^m\ 27^s *(26^h\ 28^m\ 33^s-26^h\ 23^m\ 58^s)$$

$$Y = 634.644703$$

$$X = 24.07+26^h\ 23^m\ 58^s-26^h\ 28^m\ 33^s$$

$$X = 23.993611$$

$$\theta_{Isha} = (634.644703 / 23.993611)$$

$$\theta_{Isha} = 26^h\ 27^m\ 02^s$$

بعد حساب قيمة مطالع درجة العشاء θ_{Isha}، وهو وقت العشاء بالتوقيت النجمي، نقوم بتحويله إلى التوقيت العالمي UT

$T_{Isha} = \theta_{Isha} - \theta_G$

$T_{Isha} = 26^h\ 27^m\ 02^s - 10^h\ 20^m\ 27^s$

$T_{Isha} = 16^h\ 06^m\ 35^s \quad (\div 1.00273791)$

$T_{Isha} = 16^h\ 03^m\ 56^s$ UT

إذًا وقت صلاة العشاء يوم 25 فبراير 2025 في دولة الكويت يحين تمام الساعة $16^h\ 03^m\ 56^s$ UT

باستخدام نفس درجة ارتفاع الشمس 18- لوقت الفجر، سنحصل على نفس قيمة الزاوية الساعية H ليوم 25 فبراير وسنرمز لها بالرمز H_1، ويوم 26 فبراير وسنرمز لها بالرمز H_2.

$H_1 = 07^h\ 02^m\ 28^s$

$H_2 = 07^h\ 03^m\ 16^s$

نحسب مطالع درجة الفجر θ_{Fajr} ليوم 25 فبراير وسنرمز لها بالرمز θ_1، ويوم 26 فبراير وسنرمز لها بالرمز θ_2.

$\theta_1 = \alpha - Long - H_1$

$\theta_1 = 22^h\ 33^m\ 30^s - (048.00/15) - 07^h\ 02^m\ 28^s$

$\theta_1 = 12^h\ 19^m\ 02^s$

$\theta_2 = \alpha - Long - H_2$

$\theta_2 = 22^h\ 37^m\ 17^s - (048.00/15) - 07^h\ 03^m\ 16^s$

$\theta_2 = 12^h\ 22^m\ 01^s$

نقوم بضبط قيمة المطالع وفقًا للقاعدتين التاليتين: -

$\theta_1 > \theta_2 \rightarrow \theta_2 = \theta_2 + 24^h$

$\theta_1 < \theta_G \rightarrow \theta_2 = \theta_2 + 24^h \ \& \ \theta_1 = \theta_1 + 24^h$

$\theta_1 = 12^h\ 19^m\ 02^s$

$\theta_2 = 12^h\ 22^m\ 01^s$

نقوم بتعديل حركة المطالع بين يومي 25 فبراير، و26 فبراير للحصول على مطالع درجة الفجر θ_{Fajr} للوقت المطلوب.

$\theta_{Fajr} = (y / x)$

$Y = (24.07 * \theta_1) - \theta_G * (\theta_2 - \theta_1)$

$X = 24.07 + \theta_1 - \theta_2$

$Y = (24.07*12^h\ 19^m\ 02^s)-10^h\ 20^m\ 27^s$
$*(12^h\ 22^m\ 01^s-12^h\ 19^m\ 02^s)$

$Y = 295.961369$

$X = 24.07+12^h\ 19^m\ 02^s-12^h\ 22^m\ 01^s$

$X = 24.020277$

$\theta_{Fajr} = (\ 295.961369\ /\ 24.020277\ )$

$\theta_{Fajr} = 12^h\ 19^m\ 17^s$

بعد حساب قيمة مطالع درجة الفجر θ_{Fajr}، وهو وقت الفجر بالتوقيت النجمي، نقوم بتحويله إلى التوقيت العالمي UT

$T_{Fajr} = \theta_{Fajr} - \theta_G$

$T_{Fajr} = 12^h\ 19^m\ 17^s - 10^h\ 20^m\ 27^s$

$T_{Fajr} = 01^h\ 58^m\ 50^s \quad (\div 1.00273791)$

$T_{Fajr} = 01^h\ 58^m\ 30^s$ UT

إذًا وقت صلاة الفجر يوم 25 فبراير 2025 في دولة الكويت يحين تمام الساعة $UT\ 01^h\ 58^m\ 30^s$

ننتقل الآن إلى حساب وقت صلاة الظهر، ومن أجل ذلك نحسب مطالع التوسط θ_{Noon} ليوم 25 فبراير وسنرمز لها بالرمز θ_1، ويوم 26 فبراير وسنرمز لها بالرمز θ_2.

$\theta_1 = \alpha - Long$

$\theta_1 = 22^h\ 33^m\ 30^s - (048.00/15)$

$\theta_1 = 19^h\ 21^m\ 30^s$

$\theta_2 = \alpha - Long$

$\theta_2 = 22^h\ 37^m\ 17^s - (048.00/15)$

$\theta_2 = 19^h\ 25^m\ 17^s$

نقوم بضبط قيمة مطالع التوسط وفقًا للقاعدتين التاليتين: -

$\theta_1 > \theta_2 \rightarrow \theta_2 = \theta_2 + 24^h$

$\theta_1 < \theta_G \rightarrow \theta_2 = \theta_2 + 24^h \ \& \ \theta_1 = \theta_1 + 24^h$

$\theta_1 = 19^h\ 21^m\ 30^s$

$\theta_2 = 19^h\ 25^m\ 17^s$

نقوم بتعديل حركة المطالع بين يومي 25 فبراير، و26 فبراير للحصول على مطالع التوسط θ_{Noon} للوقت المطلوب.

$\theta_{Noon} = (y / x)$

$Y = (24.07*\theta_1) - \theta_G*(\theta_2 - \theta_1)$

$X = 24.07 + \theta_1 - \theta_2$

$Y = (24.07*19^h\ 21^m\ 30^s)-10^h\ 20^m\ 27^s$
$*(19^h\ 25^m\ 17^s-19^h\ 21^m\ 30^s)$

$Y = 465.303036$

$X = 24.07+19^h\ 21^m\ 30^s-19^h\ 25^m\ 17^s$

$X = 24.006944$

$\theta_{Noon} = (\ 465.303036\ /\ 24.006944\ )$

$\theta_{Noon} = 19^h\ 22^m\ 55^s$

بعد حساب قيمة مطالع درجة التوسط θ_{Noon}، وهو وقت الظهر بالتوقيت النجمي، نقوم بتحويله إلى التوقيت العالمي UT

$T_{Noon} = \theta_{Noon} - \theta_G$

$T_{Noon} = 19^h\ 22^m\ 55^s-10^h\ 20^m\ 27^s$

$T_{Noon} = 09^h\ 02^m\ 28^s \quad (\div 1.00273791)$

$T_{Noon}= 09^h\ 00^m\ 59^s\ UT$

إذًا وقت صلاة الظهر يوم 25 فبراير 2025 في دولة الكويت يحين تمام الساعة $09^h\ 00^m\ 59^s$ UT

أخيرًا نحسب وقت صلاة العصر، ونبدأ بتحديد درجة ارتفاع العصر h_{Asr} ليوم 25 فبراير، من خلال المعادلة الرياضية: -

$$Tan(h_{Asr}) = 1 / (1 + Tan(|Lat - \delta|))$$

وقبل التعويض في المعادلة عن قيمة درجة ميل الشمس δ يجب التأكد من أن هذه القيمة محسوبة لوقت الزوال $09^h\ 00^m\ 59^s$ UT من يوم 25 فبراير، حيث نقوم باستنتاج ذلك من خلال تطبيق طريقة الاستيفاء الخطي لقيمة الميل بين يومي 25 و26 فبراير 2025 للحصول على قيمتها عند الوقت المطلوب للحساب.

UT 00:00	Sun δ
2025-02-25	-9.077476
2025-02-26	-8.704421

$X = X_1 + (UT * (X_2 - X_1) / 24)$

$X = -9.077476+(9.0163888$

$*(-8.704421-(-9.077476))/24)$

$\delta_{UT09:00:59} = -8.937325$

$Tan(h_{Asr}) = 1 / (1 + Tan(|Lat - \delta|))$

$Tan(h_{Asr}) =1/(1+Tan(|29.25+8.937325|))$

$Tan(h_{Asr}) =1/(1+Tan(38.187325))$

$Tan(h_{Asr}) =1/1.78656425$

$Tan(h_{Asr}) =0.55973357$

$h_{Asr} =29.237204$

تصحيح درجة ارتفاع العصر من تأثير الانكسار الجوي من خلال استخدام الصيغة الرياضية التالية: -

$h_{Asr} = h_{Asr} * 1.00065 - 0.0439$

$h_{Asr} = 29.237204 * 1.00065 - 0.0439$

$h_{Asr} = 29.212308$

بدلالة درجة ارتفاع الشمس لوقت العصر h_{Asr}، نحسب على الترتيب الزاوية الساعية H ليوم 25 فبراير وسنرمز لها بالرمز H_1، ويوم 26 فبراير وسنرمز لها بالرمز H_2.

$Cos(H_1) = (y / x)$

$y = Sin(h) - Sin(Lat) * Sin(\delta)$

$y = Sin(29.212308) - Sin(29.25) * Sin(-9.077476)$

$y = 0.56513688$

$x = \cos(Lat) \cos(\delta)$

$x = \cos(29.25) \cos(-9.077476)$

$x = 0.86156878$

$\cos(H_1) = (y / x)$

$\cos(H_1) = (0.56513688 / 0.86156878)$

$H_1 = 49.009083$

$H_1 = 03^h\ 16^m\ 02^s$

$\cos(H_2) = (y / x)$

$y = \sin(h) - \sin(Lat) * \sin(\delta)$

$y = \sin(29.212308) - \sin(29.25) * \sin(-8.704421)$

$y = 0.56199368$

$x = Cos\ (Lat)\ Cos\ (\delta)$

$x = Cos\ (29.25)\ Cos\ (-8.704421)$

$x = 0.86244678$

$Cos(H_2) = (\ y\ /\ x\ )$

$Cos(H_2) = (0.56199368\ /\ 0.86244678)$

$H_2 = 49.335610$

$H_2 = 03^h\ 17^m\ 20^s$

نحسب مطالع درجة العصر θ_{Asr} ليوم 25 فبراير وسنرمز لها بالرمز θ_1، ويوم 26 فبراير وسنرمز لها بالرمز θ_2.

$\theta_1 = \alpha - Long + H_1$

$\theta_1 = 22^h\ 33^m\ 30^s - (048.00/15) + 03^h\ 16^m\ 02^s$

$\theta_1 = 22^h\ 37^m\ 32^s$

$\theta_2 = \alpha - Long + H_2$

$\theta_2 = 22^h\ 37^m\ 17^s - (048.00/15) + 03^h\ 17^m\ 20^s$

$\theta_2 = 22^h\ 42^m\ 37^s$

نقوم بضبط قيمة المطالع وفقًا للقاعدتين التاليتين: -

$\theta_1 > \theta_2 \rightarrow \theta_2 = \theta_2 + 24^h$

$\theta_1 < \theta_G \rightarrow \theta_2 = \theta_2 + 24^h\ \&\ \theta_1 = \theta_1 + 24^h$

$\theta_1 = 22^h\ 37^m\ 32^s$

$\theta_2 = 22^h\ 42^m\ 37^s$

نقوم بتعديل حركة المطالع بين يومي 25 فبراير، و26 فبراير للحصول على مطالع درجة العصر θ_{Asr} للوقت المطلوب.

$\theta_{Asr} = (y / x)$

$Y = (24.07*\theta_1)-\theta_G*(\theta_2-\theta_1)$

$X = 24.07+\theta_1-\theta_2$

$Y = (24.07*22^h\ 37^m\ 32^s)-10^h\ 20^m\ 27^s$
$*(22^h\ 42^m\ 37^s-22^h\ 37^m\ 32^s)$

$Y = 543.721023$

$X = 24.07+22^h\ 37^m\ 32^s-22^h\ 42^m\ 37^s$

$X = 23.985277$

$\theta_{Asr} = (543.721023 / 23.985277)$

$\theta_{Asr} = 22^h\ 40^m\ 08^s$

بعد حساب قيمة مطالع درجة العصر θ_{Asr}، وهو وقت العصر بالتوقيت النجمي، نقوم بتحويله إلى التوقيت العالمي UT

$T_{Asr} = \theta_{Asr} - \theta_{G}$

$T_{Asr} = 22^{h}\ 40^{m}\ 08^{s} - 10^{h}\ 20^{m}\ 27^{s}$

$T_{Asr} = 12^{h}\ 19^{m}\ 41^{s} \quad (\div 1.00273791)$

$T_{Asr} = 12^{h}\ 17^{m}\ 40^{s}\ UT$

إذًا وقت صلاة العصر يوم 25 فبراير 2025 في دولة الكويت يحين تمام الساعة $12^{h}\ 17^{m}\ 40^{s}$ UT

بذلك تكون نتائج حسابات المطالب السابقة بالتوقيت العالمي UT: -

T_{Fajr}		T_{Noon}
01:58:30		09:00:59
T_{Asr}	T_{sunset}	T_{Isha}
12:17:40	14:45:12	16:03:56

سمت القبلة

القبلة هي الجهة، والكعبة المشرفة قبلة المسلمين، فهي الجهة التي يستقبلها المسلم بوجهه أثناء صلاته، ولا تصح الصلاة بغير ذلك، فاستقبال القبلة شرط من شروط صحة الصلاة، ومن خفيت عليه جهتها، وجب عليه الاجتهاد في إصابة جهتها. وسمت القبلة هو اتجاه الكعبة المشرفة، وهو نقطة من الأفق من واجهها فقد واجه الكعبة.

تحديد سمت القبلة

يمثل الخط المستقيم أقصر مسافة بين أي نقطتين واقعتين على سطح مستوٍ، ولكن إذا كانت هاتان النقطتان واقعتين على سطحٍ كروي، فإن الخط الواصل بينهما لا يكون خطًا مستقيمًا، إنما قوس من الدائرة العظمى الواصل بينهما، وهذا القوس يمثل أقصر مسافة بين هاتين النقطتين، وعلى ذلك يعرف سمت القبلة بين أي موقع مفروض، وموقع الكعبة المشرفة على سطح الكرة الأرضية بأنه تلك الزاوية المحصورة بين القوس الواصل بين الموقع المفروض وموقع الكعبة المشرفة من جهة، وبين خط الطول المار عند الموقع المفروض من جهة أخرى، مقاساً من الشمال باتجاه الشرق.

ويُعد تحديد اتجاه القبلة بدقة أمرًا مهمًا في التطبيقات الفلكية والشرعية، وتتعدد الطرق الرياضية المستخدمة لهذا الغرض. من أبرز هذه الطرق طريقتان أساسيتان: -

الأولى معروفة باسم abc Tables، وهي طريقة ملاحية تقليدية مبنية على تبسيط العلاقات المثلثية الكروية.

حيث تستخدم معها جداول تضم قيمًا لدوال مثلثية وجيوب ولوغاريتمات وظلال وزوايا محسوبة مسبقًا لمجموعة من الزوايا أو القيم الفلكية، تُستخدم لتسريع الحسابات الملاحية والفلكية دون الحاجة لاستخدام الآلة الحاسبة أو الحسابات المثلثية المعقدة، وتسمى جداول نوريس الملاحية Norie's Nautical Tables، التي تعتبر من أشهر المراجع الكلاسيكية في الملاحة السماوية، وتُستخدم قديمًا في تحديد المواقع البحرية والزوايا السمتية بدقة دون الحاجة إلى أجهزة إلكترونية.

الثانية تستخدم الصيغة الكروية المصححة لحساب الزاوية السمتية مباشرة باستخدام دالة الظل العكسي، وتُعد أكثر شيوعًا في البرمجيات الحديثة.

نفرض أن (M) Position يمثل الموقع الجغرافي للكعبة المشرفة، ويعادل 21.422502N & 39.826181E

وأن (X) Position يمثل الموقع الجغرافي المفروض لحساب سمت القبلة، وليكن 29.25N & 48.00E

فإننا نبدأ بحساب فرق الطول D.Long بين الموقعين على أن يكون مقاساً باتجاه الغرب.

$D.Long = Long_X - Long_M$

$D.Long = 48.00 - 39.826181$

$D.Long = 8.173819$

نحسب قيمة a وتأخذ إشارة معاكسة لإشارة Lat_X مالم تكن قيمة فرق الطول D.Long تقع بين الدرجتين 90 و 270 ففي هذه الحالة تكون إشارة a مشابهة لإشارة Lat_X

$a = Tan(Lat_X) / Tan(D.Long)$

$a = Tan(29.25) / Tan(8.173819)$

a = 3.898936 S

نحسب قيمة b وتأخذ دائماً إشارة الشمال N، والتي تمثل إشارة خط عرض الكعبة المشرفة.

b = Tan(Lat_M) / Sin(D.Long)

b = Tan(21.422502) / Sin(8.173819)

b = 2.759587 N

عند حساب قيمة كل من a و b تهمل الإشارات السالبة ويتم التعامل مع العدد الناتج على أنه موجب الإشارة.

نحسب قيمة c بجمع a و b في حال اتفاقهما في الإشارة أو أخذ الفرق بينهما في حال اختلافهما في الإشارة، وتأخذ c إشارة القيمة الأكبر

c = a ± b

c = 3.898936 S - 2.759587 N

c = 1.139349 S

نحسب سمت القبلة A بالنظام الربع دائري حيث تأخذ إشارة الشمال أو الجنوب بحسب إشارة c، بينما تأخذ إشارة الشرق أو الغرب بحسب قيمة فرق الطول D.Long بحيث تكون شرق إذا كان فرق الطول أكبر من 180 درجة، وتكون غرب إذا كان أصغر من 180 درجة.

$$\tan(A) = 1 / (c \times \cos(Lat_X))$$

$$\tan(A) = 1 / (1.139349 \times \cos(29.25))$$

$$A = S\ 45.170222\ W$$

نحول سمت القبلة A من النظام الربع دائري إلى النظام الدائري مقاساً من الشمال باتجاه الشرق.

$$A = S\ 45.170222\ W$$

$$S(A)W \rightarrow A = 180 + A$$

$$A = 180 + 45.170222$$

$$A = 225.170222$$

مثال: - احسب سمت القبلة A في الموقع الجغرافي المفروض
31.933333S & 115.966667E

$D.Long = Long_X - Long_M$

$D.Long = 115.966667 - 39.826181$

$D.Long = 76.140486$

$a = Tan(Lat_X) / Tan(D.Long)$

$a = Tan(-31.933333) / Tan(76.140486)$

$a = 0.153772$ N

$b = Tan(Lat_M) / Sin(D.Long)$

$b = Tan(21.422502) / Sin(76.140486)$

$b = 0.404114$ N

c = a ± b

c = 0.153772 N + 0.404114 N

c = 0.557886 N

$\text{Tan (A)} = 1 / (c * \text{Cos}(\text{Lat}_X))$

Tan (A) =1/(0.557886*Cos(-31.933333))

A = N 64.664418 W

N(A)W → A = 360 - A

A = 360 - 64.664418

A = 295.335582

مثال: - احسب سمت القبلة A في الموقع الجغرافي المفروض

36.216667N & 115.2W

$D.Long = Long_X - Long_M$

D.Long = -115.2 - 39.826181

D.Long = -115.026181

D.Long = 204.973819

$a = Tan(Lat_X) / Tan(D.Long)$

a = Tan(36.216667) / Tan(204.973819)

a = 1.572375 N

$b = Tan(Lat_M) / Sin(D.Long)$

b = Tan(21.422502)/Sin(204.973819)

b = 0.929287 N

$c = a \pm b$

c = 1.572375 N + 0.929287 N

c = 2.501662 N

$Tan (A) = 1 / (c * Cos(Lat_X))$

Tan (A) =1/(2.501662*Cos(36.216667))

A = N 26.356737 E

N(A)E → A = A

A = 26.356737

مثال: - احسب سمت القبلة A في الموقع الجغرافي المفروض

1.383333S & 48.483333W

$D.Long = Long_X - Long_M$

$D.Long = -48.483333 - 39.826181$

$D.Long = -88.309514$

$D.Long = 271.690486$

$a = Tan(Lat_X) / Tan(D.Long)$

$a = Tan(-1.383333) / Tan(271.690486)$

$a = 0.000712$ N

$b = Tan(Lat_M) / Sin(D.Long)$

$b = Tan(21.422502)/Sin(271.690486)$

$b = 0.392519$ N

$c = a \pm b$

$c = 0.000712\ N + 0.392519\ N$

$c = 0.393231\ N$

$Tan\ (A) = 1 / (c * Cos(Lat_X))$

$Tan\ (A) = 1/(0.393231*Cos(-1.383333))$

$A = N\ 68.539396\ E$

$N(A)E \rightarrow A = A$

$A = 68.539396$

مثال: - احسب سمت القبلة A في الموقع الجغرافي المفروض

28.233333N & 80.6W

$D.Long = Long_X - Long_M$

$D.Long = -80.6 - 39.826181$

$D.Long = -120.426181$

$D.Long = 239.573819$

$a = Tan(Lat_X) / Tan(D.Long)$

$a = Tan(28.233333) / Tan(239.573819)$

$a = 0.315353\ N$

$b = Tan(Lat_M) / Sin(D.Long)$

$b = Tan(21.422502)/Sin(239.573819)$

$b = 0.455012\ N$

$c = a \pm b$

$c = 0.315353\ N + 0.455012\ N$

$c = 0.770365\ N$

$Tan\ (A) = 1\ /\ (\ c * Cos(Lat_X)\ )$

$Tan\ (A) = 1/(0.770365*Cos(28.233333))$

$A = N\ 55.834734\ E$

$N(A)E \rightarrow A = A$

$A = 55.834734$

مثال: - احسب سمت القبلة A في الموقع الجغرافي المفروض

17.8S & 63.166667W

$D.Long = Long_X - Long_M$

D.Long = -63.166667 - 39.826181

D.Long = -102.992848

D.Long = 257.007152

$a = Tan(Lat_X) / Tan(D.Long)$

a = Tan(-17.8) / Tan(257.007152)

a = 0.074081 S

$b = Tan(Lat_M) / Sin(D.Long)$

b = Tan(21.422502)/Sin(257.007152)

b = 0.402657 N

$c = a \pm b$

c = 0.074081 S - 0.402657 N

c = 0.328576 N

$\mathrm{Tan}(A) = 1 / (c * \mathrm{Cos}(Lat_X))$

Tan (A) =1/(0.328576*Cos(-17.8))

A = N 72.627871 E

N(A)E → A = A

A = 72.627871

مثال: - احسب سمت القبلة A في الموقع الجغرافي المفروض

34.528333N & 69.171667E

$D.Long = Long_X - Long_M$

D.Long = 69.171667 - 39.826181

D.Long = 29.345486

$a = Tan(Lat_X) / Tan(D.Long)$

a = Tan(34.528333) / Tan(29.345486)

a = 1.223740 S

$b = Tan(Lat_M) / Sin(D.Long)$

b = Tan(21.422502)/Sin(29.345486)

b = 0.800589 N

c = a ± b

c = 1.223740 S - 0.800589 N

c = 0.423151 S

$\text{Tan (A)} = 1 / (c * \text{Cos}(\text{Lat}_X))$

Tan (A) =1/(0.423151*Cos(34.528333))

A = S 70.780870 W

S(A)W → A = 180 + A

A = 180 + 70.780870

A = 250.780870

مثال: - احسب سمت القبلة A بطريقة الصيغة الكروية المصححة في الموقع الجغرافي 36.8485S & 174.763E

$D.Long = Long_M - Long_X$

$D.Long = 39.826181 - 174.763$

$D.Long = -134.939819$

$y = Sin(D.Long)$

$y = -0.707886$

$x = cos(Lat_X) * tan(Lat_M)$

$- sin(Lat_X) * cos(D.Long)$

$x = cos(-36.8485)*tan(21.422502)$

$- sin(-36.8485)*cos(-134.939819)$

$x = -0.109617$

```
Tan(A) = ( y / x )

Tan(A) = ( -0.707886 / -0.109617 )

    A  = 81.197592

IF: Y < 0 & x < 0  →  A = A + 180

    A  = 81.197592 + 180

    A  = 261.197592
```

إن الأساس النظري لحساب سمت القبلة كما ذكرنا سابقاً هو الدائرة العظمى، والقوانين الرياضية المستخدمة في تطبيق ذلك هي قوانين المثلث الكروي. فالدائرة العظمى هي الأساس النظري في معظم النماذج والحسابات التي تهدف عملياً إلى تحديد اتجاه القبلة.

إحدى خصائص الدائرة العظمى هي أنها تشير إلى أقصر مسار يربط بين أي موقعين على سطح الكرة الأرضية، وبالتالي فإن سمت القبلة المحسوبة باستخدام طريقة الدائرة العظمى تكون بشكل عام صحيحة.

لكن إذا علمنا بأن الشكل الإهليجي Ellipsoidal Model هو الشكل الأكثر دقة لوصف الأرض (كروي مفلطح)، وليس الشكل الكروي المتجانس Spherical Model فيكون استخدام النموذج الإهليجي للأرض من خلال الصيغ الرياضية التي وضعها عالم الجيوديسيا البولندي الأمريكي ثاديوس فينسينتي (1920 - 2002) Vincenty's Formulae، أكثر دقة في تحديد اتجاه القبلة، بالرغم مما يتطلب ذلك من قوانين وحسابات أكثر تعقيدًا في حين أن النتائج المحصلة من قوانين المثلث الكروي تقع وبشكل مرضي ضمن الدقة النموذجية المطلوبة.

سمت القبلة باستخدام معادلات فينسينتي

لحساب سمت القبلة بدقة، نستخدم معادلات ڤينسنتي الجيوديسية التي تعتمد نموذج الأرض الإهليلجي، وتُعطي الاتجاه على امتداد المسار الجيوديزي، وهو أقصر مسافة بين نقطتين على سطح الأرض الحقيقي، ولشرح هذه الطريقة سنحسب سمت القبلة A في الموقع الجغرافي الذي استخدمناه سلفًا.

34.528333N & 69.171667E

أولاً: المدخلات الأساسية

احداثيات المواقع الجغرافية

$Lat_X = 34.528333$

$Long_X = 69.171667$

$Lat_M = 21.422502$

$Long_M = 39.826181$

معامل التفلطح

$f = 1/298.257223563$

ثانيًا: زاوية العرض المعدل

$U_1 = ATan((1 - f) * tan(Lat_X))$

$U_1 = 34.43853105$

$U_2 = ATan((1 - f) * tan(Lat_M))$

$U_2 = 21.35715648$

ثالثًا: فرق خطوط الطول مقاسًا من الطول الأول مع حفظ بالإشارة

$L = Long_M - Long_X = -29.345486$

$\lambda_0 = L = -29.345486$ (القيمة الابتدائية لعملية التكرار)

رابعًا: عملية التكرار التصحيحية

القيمة الابتدائية λ_0 تعبر عن فرق خط الطول الجغرافي المعدل بين الموقعين ليأخذ تأثير الإهليلجية بعين الاعتبار. أي أننا نفترض في البداية أن الفرق في خط الطول الجغرافي هو الفرق الحقيقي بين النقطتين، ثم نقوم بتحديث هذه القيمة في كل دورة تكرارية بناءً على المعادلات، حتى تتوقف التغييرات وتصل إلى دقة معينة.

حساب جيب الزاوية المركزية، وهي الزاوية التي تمتد من مركز الأرض إلى كل نقطة من النقطتين على سطح الإهليلج.

$$Sin\sigma = Sqrt((CosU_2 * Sin\lambda_0)^2 + (CosU_1 * SinU_2 - SinU_1 * CosU_2 * Cos\lambda_0)^2)$$

$$Sin\sigma = 0.48324043$$

حساب جيب تمام الزاوية المركزية.

$$Cos\sigma = SinU_1 * SinU_2 + CosU_1 * CosU_2 * Cos\lambda_0$$

$$Cos\sigma = 0.87548768$$

حساب الزاوية المركزية الكاملة بين النقطتين، ونقوم بتصحيحها بطريقة تصحيح دالة الظل العكسي.

$$\sigma = ATan(sin\sigma / cos\sigma) = ATan(Y / x)$$

$$\sigma = 28.8972545$$

حساب جيب زاوية السمت.

$$Sin\alpha = (CosU_1 * CosU_2 * Sin\lambda_0) / Sin\sigma$$

$$Sin\alpha = -0.77896036$$

حساب مربع جيب تمام زاوية السمت.

$$Cos^2\alpha = 1 - Sin\alpha^2$$

$$Cos^2\alpha = 0.39322075$$

حساب جيب تمام زاوية منتصف القوس.

$$Cos2\sigma_m = Cos\sigma - ((2 * SinU_1 * SinU_2) / Cos^2\alpha)$$

$$Cos2\sigma_m = -0.17202562$$

حساب معامل التصحيح، ويُستخدم لحساب الفرق بين الأرض الكروية والإهليلجية، يعتمد على معامل التفلطح في تصحيح ذلك الفرق.

$$C = (f / 16) * Cos^2\alpha * (4 + f * (4 - 3 * Cos^2\alpha))$$

$C = 0.00033037$

حساب قيمة زاوية فرق خطوط الطول المُصححة.

$\lambda_1 = L + (1 - C) * f * Sin\alpha * (\sigma + C * Sin\sigma * (Cos2\sigma_m + C * Cos\sigma * (-1 + 2 * Cos2\sigma_m^2)))$

$\lambda_1 = -29.42092785$

$|\lambda_0 - \lambda_1| = 0.07544185$

نعيد عملية التكرار التصحيحية.

في كل دورة من التكرار، نحسب قيمة جديدة لزاوية فرق خطوط الطول المُصححةλ ، ونقارنها بسابقتها حتى يبلغ الفرق بينهما أقل ما يمكن، فنتوقف حينئذ عن التكرار.

$\lambda_2 = -29.42111807$

$|\lambda_1 - \lambda_2| = 0.00019022$

$\lambda_3 = -29.42111865$

$|\lambda_2 - \lambda_3| = 0.00000058$

خامسًا: حساب سمت القبلة.

$X = CosU_1 * SinU_2 - SinU_1 * CosU_2 * Cos\lambda_3$

$X = -0.15840940$

$Y = CosU_2 * Sin\lambda_3$

$Y = -0.45749164$

$Tan(A) = (Y / X)$

$A = 70.90126192$

نصحح زاوية سمت القبلة A بطريقة تصحيح دالة الظل العكسي.

$A = 70.90126192$

$Y < 0 \ \& \ x < 0 \rightarrow A = A + 180$

$A = 250.9012619$

مقارنة بين زاوية سمت القبلة A المحسوبة من خلال معادلات المثلث الكروي، ومعادلات فينسينتي لمواقع جغرافية مختلفة.

الموقع الجغرافي	معادلات المثلث الكروي	معادلات فينسينتي	الفرق بالدرجات
29.25N 48.00E	225.170222	225.326813	0.156591
31.933333S 115.966667E	295.335582	295.159487	0.176095
36.216667N 115.2W	26.356737	26.269355	0.087382
1.383333S 48.483333W	68.539396	68.613096	0.073700
41.2865S 174.7762E	256.390487	256.128063	0.262424

الفروق بين الطريقتين صغيرة جدًا (أجزاء من الدرجة)، لكنها موجودة، هذه الفروق تظهر بشكل أكبر عند المسافات البعيدة، فقد تصل إلى ربع درجة. حيث تُعتبر معادلات فينسينتي أكثر دقة، لأنها تأخذ في الاعتبار الشكل الإهليلجي للأرض، فهي أدق تمثيلًا للمسار الأقصر على سطح الأرض بشكلها الحقيقي، بينما في معادلات المثلث الكروي يُفترض بأن الأرض كرة مثالية.

البعد القطبي والبعد السمتي وتمام العرض

يعرف البعد القطبي PD على انه قوس من دائرة الزوال المارة بالجرم السماوي، والمقاس من القطب السماوي المرتفع إلى موقع الجرم السماوي من 0 وحتى 180 درجة.

$$PD = 90 \pm |\delta|$$

حيث إن: -

+	الميل بخلاف إشارة العرض
–	الميل بنفس إشارة العرض
| |	القيمة المطلقة

ويعرف البعد السمتي ZD على انه قوس من الدائرة الرأسية المارة بالجرم السماوي، والمقاس من نقطة سمت الرأس Z إلى موقع الجرم من 0 وحتى 180 درجة.

$$ZD = 90 - h$$

بينما يعرف تمام العرض Co.Lat على انه قوس من دائرة طول الراصد، والمقاس من القطب الجغرافي الأقرب إلى موقع الراصد من 0 وحتى 90 درجة.

Co.Lat = 90 - |Lat|

وقت القبلة

وهو الوقت الذي يكون فيه مركز الشمس في اتجاه القبلة تمامًا بالنسبة إلى الراصد، حيث أن الشمس خلال حركتها الظاهرية اليومية ما بين الشروق والغروب قد تمر باتجاه القبلة، ومن الطبيعي أن هذا الوقت يختلف من يوم إلى آخر بسبب تغير درجة ميل الشمس على مدار السنة، ويختلف كذلك من موقع جغرافي إلى آخر، وحتى تتحقق هذه الظاهرة لابد من أن تتوفر الشروط الرئيسية التالية: -

- ألا يقع خط عرض الراصد بين ميل الشمس وخط عرض الكعبة.
- ألا يكون خط عرض الراصد مساويًا لميل الشمس.
- أن تكون الشمس فوق الأفق عند وقت مواجهتها للقبلة.

حساب وقت القبلة

لمعرفة الوقت الذي تكون عنده الشمس باتجاه القبلة، وهو وقت القبلة T_{Qiblah} بحيث أنك إذا واجهتها تكون متجهاً نحو الكعبة المشرفة تمامًا، فإننا نقوم باستخدام مجموعة من قوانين المثلث الكروي، حيث يكون لدينا قوسان من أقواس المثلث وزاوية معلومة، وهما قوس البعد القطبي PD وقوس تمام عرض الراصد Co.Lat، والزاوية المقابلة لأحدهما وهي الزاوية السمتيه A، وتمثل هنا اتجاه القبلة مقاسًا بالنظام النصف دائري.

فإن أردنا على سبيل المثال إيجاد وقت القبلة T_{Qiblah} يوم 25 فبراير 2025 لراصد في الموقع الجغرافي 29.25N, 048.00E ، مع سابق علمنا بأن اتجاه القبلة A هو 225.170222، ووقت زوال الشمس T_{Noon} في هذا اليوم $09^h\ 00^m\ 59^s$ UT، وأن ميل الشمس δ عند وقت الزوال يعادل -8.937325

$$Co.Lat = 90 - |Lat|$$

$$Co.Lat = 90 - |29.25|$$

$$Co.Lat = 60.75$$

$PD = 90 \pm \delta$

$PD = 90 + |-8.937325|$

$PD = 90 + 8.937325$

$PD = 98.937325$

$A = 225.170222$

$H < 180 \ \& \ Lat(N) \rightarrow A = 360° - A$

$A = 360 - 225.170222$

$A = 134.829778$

نستخدم أولاً قانون الجيب لاستخراج الزاوية المقابلة الأخرى، وهي الزاوية B عند الشمس

Sin(B)=(Sin(A)*Sin(Co.Lat))/ Sin(PD)

Sin(B) =(Sin(134.829778)*Sin(60.75))

/Sin(98.937325)

Sin(B) = 0.626383

B = 38.783768

يكون للزاوية B حلين اثنين، فإما أن تكون B، وإما أن تكون 180-B، بمعنى إما أن تكون أصغر من 90 درجة أو أن تكون أكبر، وكلاهما يعتبر صحيح من الناحية الرياضية، إلا أن الزاوية المطلوبة هنا يجب أن تتوافق مع إحدى خصائص المثلث الكروي، والتي تنص على أن أطول قوس في المثلث الكروي يقابل أكبر زاوية فيه. ولما كان قوس البعد القطبي PD يقابل زاوية السمت A فإن قوس تمام العرض Co.Lat يقابل الزاوية B، والقاعدة البسيطة المباشرة لمعرفة الربع الصحيح من الدائرة هي مقارنة تمام العرض Co.Lat مع البعد القطبي PD:-

فإذا كانت Co.Lat > PD، الزاوية في الربع الثاني B > 90°

وإذا كانت Co.Lat < PD، الزاوية في الربع الأول B < 90°

∴B = 38.783768

ننتقل مرة أخرى لحل المثلث الكروي لإيجاد القوس الثالث الذي يمثل البعد السمتي للشمس ZD عندما تكون باتجاه القبلة.

```
a = Cos((B+A)/2)

b = Tan((Co.Lat+PD)/2)

c = Cos((B-A)/2)
```

```
a = Cos((B+A)/2)

a = Cos((38.783768+134.829778)/2)

a = 0.055703
```

```
b = Tan((Co.Lat+PD)/2)

b = Tan((60.75+98.937325)/2)

b = 5.582170
```

```
c = Cos((B-A)/2)

c = Cos((38.783768-134.829778)/2)

c = 0.668832


Tan(ZD/2)= (a * b) / c

Tan(ZD/2)= (0.055703*5.582170)

           /0.668832

Tan(ZD/2)= 0.464905

   (ZD/2)= 24.933952

      ZD = 49.867904
```

بعد استخراج البعد السمتي للشمس ZD، وبناء على جهة سمت القبلة يتضح بأن الشمس ستكون ظاهرة فوق الأفق الغربي عند وقت مواجهتها للقبلة، وعليه نكمل الحساب لإيجاد قيمة الزاوية الساعية H.

باستخدام قانون جيب التمام نستخرج قيمة الزاوية الساعية H، ومنها نوجد الوقت المطلوب بعد حذف الزاوية الساعية أو إضافتها على وقت الزوال بحسب اتجاه الشمس، والذي سيكون حينها هو نفسه اتجاه القبلة بالنظام الدائري، حيث إذا كان جهة الشرق أي قبل الزوال تحذف الزاوية الساعية من وقت الزوال، بينما إذا كان جهة الغرب أي بعد الزوال تضاف إليه للحصول على وقت القبلة المطلوب.

يلاحظ بأن اتجاه الشمس يكون حينئذ عكس اتجاه الظل المبسوط، لذا فقد يكون من السهل على الراصد ملاحظة اتجاه ظل شاخص قائم على مستوى الأرض في لحظة سمت القبلة، عوضًا عن النظر المباشر للشمس.

```
Cos(H) = ( y / x )

y = Cos(ZD) - Cos(Co.Lat) * Cos(PD)

y = Cos(49.867904) - Cos(60.75)

     * Cos(98.937325)

y = 0.720461


x = Sin(Co.Lat) * Sin(PD)

x = Sin(60.75) * Sin(98.937325)

x = 0.861902


Cos(H) = ( y / x )

Cos(H) = ( 0.720461 / 0.861902 )

     H  = 33.290680
```

$T_{Qiblah} = T_{Noon} + (H/15)$

$T_{Qiblah} = 09^h\ 00^m\ 59^s + (33.290680/15)$

$T_{Qiblah} = 11^h\ 14^m\ 09^s$ UT

مثال:- أوجد وقت القبلة T_{Qiblah} يوم 10 مايو 2025 لراصد في الموقع الجغرافي 3.138888N, 101.686944E إذا علمت بأن اتجاه القبلة A هو 292.5، ووقت زوال الشمس T_{Noon} هو $05^h\ 09^m\ 39^s$ UT، وأن ميل الشمس δ عند وقت الزوال يعادل 17.689471

Co.Lat = 90 – |Lat|

Co.Lat = 90 - |3.138888|

Co.Lat = 86.861112

PD = 90 ± δ

PD = 90 - |17.689471|

PD = 90 - 17.689471

PD = 72.310529

A = 292.5

H < 180 & Lat(N) → A = 360° - A

A = 360 - 292.5

A = 67.5

Sin(B) =(Sin(A)*Sin(Co.Lat))/Sin(PD)

Sin(B) =(Sin(67.5)*Sin(86.861112))

/Sin(72.310529)

Sin(B) = 0.968276

```
B  = 75.529402

Co.Lat > PD

B = 180 – B

B = 180 - 75.529402

B = 104.470598


a = Cos((B+A)/2)

a = Cos((104.470598+67.5)/2)

a = 0.070012


b = Tan((Co.Lat+PD)/2)

b = Tan((86.861112+72.310529)/2)

b = 5.440987
```

```
c = Cos((B-A)/2)

c = Cos((104.470598-67.5)/2)

c = 0.948405


Tan(ZD/2)= (a * b) / c

Tan(ZD/2)= (0.070012*5.440987)

           /0.948405

Tan(ZD/2)= 0.401657

   (ZD/2)= 21.883206

      ZD = 43.766412
```

```
Cos(H) = ( y / x )

y = Cos(ZD) - Cos(Co.Lat) * Cos(PD)

y = Cos(43.766412) - Cos(86.861112)

    * Cos(72.310529)

y = 0.705527


x = Sin(Co.Lat) * Sin(PD)

x = Sin(86.861112) * Sin(72.310529)

x = 0.951288


Cos(H) = ( y / x )

Cos(H) = ( 0.705527 / 0.951288 )

    H  = 42.127457
```

$T_{Qiblah} = T_{Noon} + (H/15)$

$T_{Qiblah} = 05^h\ 09^m\ 39^s + (42.127457/15)$

$T_{Qiblah} = 07^h\ 58^m\ 10^s$ UT

مثال: - أوجد وقت القبلة T_{Qiblah} **يوم** 20 **نوفمبر** 2025 **لراصد في الموقع الجغرافي** 33.966666S, 18.600E **إذا علمت بأن اتجاه القبلة** A **هو** 23.2**، ووقت زوال الشمس** T_{Noon} **في هذا اليوم هو** $10^h\ 31^m\ 15^s$UT**، وأن ميل الشمس** δ **عند وقت الزوال يعادل** -19.792702

Co.Lat = 90 – |Lat|

Co.Lat = 90 - |-33.966666|

Co.Lat = 90 - 33.966666

Co.Lat = 56.033334

```
PD = 90 ± δ

PD = 90 - |-19.792702|

PD = 90 - 19.792702

PD = 70.207298


A = 23.2

H > 180 & Lat(S) →  A = 180° - A

A = 180 - 23.2

A = 156.8


Sin(B) =(Sin(A)*Sin(Co.Lat))/Sin(PD)

Sin(B) =(Sin(156.8)*Sin(56.033334))

       /Sin(70.207298)

Sin(B) = 0.347233
```

```
B  = 20.318166

Co.Lat < PD

B = B

B  = 20.318166


a = Cos((B+A)/2)

a = Cos((20.318166+156.8)/2)

a = 0.025146


b = Tan((Co.Lat+PD)/2)

b = Tan((56.033334+70.207298)/2)

b = 1.972841
```

```
c = Cos((B-A)/2)

c = Cos((20.318166-156.8)/2)

c = 0.370704


Tan(ZD/2)= (a * b) / c

Tan(ZD/2)= (0.025146*1.972841)

           /0.370704

Tan(ZD/2)= 0.133823

   (ZD/2)= 7.622207

      ZD = 15.244414
```

```
Cos(H) = ( y / x )

y = Cos(ZD) - Cos(Co.Lat) * Cos(PD)

y = Cos(15.244414) - Cos(56.033334)

    * Cos(70.207298)

y = 0.775623


x = Sin(Co.Lat) * Sin(PD)

x = Sin(56.033334) * Sin(70.207298)

x = 0.780367


Cos(H) = ( y / x )

Cos(H) = ( 0.775623 / 0.780367 )

    H  = 6.320927
```

$T_{Qiblah} = T_{Noon} - (H/15)$

$T_{Qiblah} = 10^h\ 31^m\ 15^s - (6.320927/15)$

$T_{Qiblah} = 10^h\ 05^m\ 58^s$ UT

مثال: - أوجد وقت القبلة T_{Qiblah} **يوم** 30 **مارس** 2025 **لراصد في الموقع الجغرافي** 26.616667S, 118.55E **إذا علمت بأن اتجاه القبلة** A **هو** 294.1**، ووقت زوال الشمس** T_{Noon} **في هذا اليوم هو** $04^h\ 10^m\ 15^s UT$**، وأن ميل الشمس** δ **عند وقت الزوال يعادل** 3.781358

Co.Lat = 90 – |Lat|

Co.Lat = 90 - |-26.616667|

Co.Lat = 90 - 26.616667

Co.Lat = 63.383333

PD = 90 ± δ

PD = 90 + |3.781358|

PD = 90 + 3.781358

PD = 93.781358

```
A = 294.1

H < 180 & Lat(S) → A = 180° + A

A = 180 + 294.1

A = 114.1


Sin(B) =(Sin(A)*Sin(Co.Lat))/Sin(PD)

Sin(B) =(Sin(114.1)*Sin(63.383333))

       /Sin(93.781358)

Sin(B) = 0.817876

    B  = 54.872735

Co.Lat < PD

B  = B

B  = 54.872735
```

```
a = Cos((B+A)/2)

a = Cos((54.872735+114.1)/2)

a = 0.096082


b = Tan((Co.Lat+PD)/2)

b = Tan((63.383333+93.781358)/2)

b = 4.951572


c = Cos((B-A)/2)

c = Cos((54.872735-114.1)/2)

c = 0.869377
```

```
Tan(ZD/2)= (a * b) / c

Tan(ZD/2)= (0.096082*4.951572)

           /0.869377

Tan(ZD/2)= 0.547239

   (ZD/2)= 28.689198

      ZD = 57.378396


Cos(H) = ( y / x )

y = Cos(ZD) - Cos(Co.Lat) * Cos(PD)

y = Cos(57.378396) - Cos(63.383333)

    * Cos(93.781358)

y = 0.568634
```

x = Sin(Co.Lat) * Sin(PD)

x = Sin(63.383333) * Sin(93.781358)

x = 0.892077

Cos(H) = (y / x)

Cos(H) = (0.568634 / 0.892077)

H = 50.399773

$T_{Qiblah} = T_{Noon} + (H/15)$

$T_{Qiblah} = 04^h\ 10^m\ 15^s + (50.399773/15)$

$T_{Qiblah} = 07^h\ 31^m\ 51^s$ UT

حساب وقت ظل القبلة

بعض المناطق الجغرافية لا تتحقق فيها الشروط اللازمة والضرورية حتى تكون الشمس فيها باتجاه القبلة خلال حركتها اليومية الظاهرية، أو قد تتحقق في أيام معينة من أيام السنة ولا تتحقق في أيام أخرى، وذلك بسبب موضع خط عرض الراصد أو بسبب تغير درجة ميل الشمس من يوم إلى آخر. وفي مثل هذه الحالات فإننا نحسب الوقت الذي يصنع عنده مركز الشمس زاوية مقدارها 180 درجة مع القبلة.

تسمى هذه الطريقة وقت ظل القبلة بدلاً عن طريقة وقت القبلة، وبذلك تكون القبلة باتجاه الظل المبسوط لشاخص قائم على مستوى الأرض. أي بعكس اتجاه الشمس، وهذه الحالات هي: -

- أن يقع خط عرض الراصد بين ميل الشمس وخط عرض الكعبة.
- أن تكون الشمس أسفل الأفق في وقت مواجهتها للقبلة.

يمكن معرفة ما إذا كان خط عرض الراصد يقع بين ميل الشمس وخط عرض الكعبة المشرفة بسهولة، وذلك من خلال معرفة درجة ميل الشمس لليوم المطلوب وخط عرض الكعبة المشرفة، والنظر في موضع خط عرض الراصد بالنسبة إليهما مع مراعاة جهة كل منهما، فإذا جاء خط عرض الراصد واقعًا بين خط عرض الكعبة المشرفة ودرجة ميل

الشمس نستخدم حينها طريقة وقت ظل القبلة. أما عن كيفية معرفة ما إذا كانت الشمس أسفل خط الأفق في وقت مواجهتها للقبلة أو فوقه، فذلك يتضح بعد حساب البعد السمتي للشمس ZD عندما تكون باتجاه القبلة، حيث سيتحدد حينها موضع الشمس بالنسبة إلى الأفق.

مثال: - أوجد وقت القبلة T_{Qiblah} يوم 15 أكتوبر 2025 لراصد في الموقع الجغرافي 39.983333N, 82.883333W إذا علمت بأن اتجاه القبلة A هو 52.4، ووقت زوال الشمس T_{Noon} في هذا اليوم $17^h\ 17^m\ 12^s$ UT، وقيمة ميل الشمس δ عند وقت الزوال يعادل -8.794786

Co.Lat = 90 - |Lat|

Co.Lat = 90 - |39.983333|

Co.Lat = 50.016667

```
PD = 90 ± δ

PD = 90 + |-8.794786|

PD = 90 + 8.794786

PD = 98.794786


A = 52.4

H > 180 & Lat(N) → A = A

A = 52.4


Sin(B) = (Sin(A) * Sin(Co.Lat))

        / Sin(PD)

Sin(B) =(Sin(52.4)*Sin(50.016667))

       /Sin(98.794786)

    B  = 37.901002
```

Co.Lat < PD

B = B

B = 37.901002

a = Cos((B+A)/2)

a = Cos((37.901002+52.4)/2)

a = 0.705246

b = Tan((Co.Lat+PD)/2)

b = Tan((50.016667+98.794786)/2)

b = 3.582980

```
c = Cos((B-A)/2)

c = Cos((37.901002-52.4)/2)

c = 0.992006


Tan(ZD/2)= (a * b) / c

Tan(ZD/2)= (0.705246*3.582980)

           / 0.992006

Tan(ZD/2)= 2.547245

   (ZD/2)= 68.565971

      ZD = 137.131942
```

بالنظر في قيمة البعد السمتي للشمس ZD، وبناء على جهة سمت القبلة يتضح بأن الشمس ستكون أسفل الأفق الشرقي عند وقت مواجهتها

للقبلة، وعليه سنستخدم طريقة حساب وقت ظل القبلة بإضافة زاوية مقدارها 180 إلى قيمة سمت القبلة A ثم سنحولها من النظام الدائري إلى النظام النصف دائري.

$$A = 52.4 + 180$$

$$A = 232.4$$

$$H < 180 \ \& \ Lat(N) \rightarrow \ A = 360 - A$$

$$A = 360 - 232.4$$

$$A = 127.6$$

$$a = Cos((B+A)/2)$$

$$a = Cos((37.901002+127.6)/2)$$

$$a = 0.126190$$

```
b = Tan((Co.Lat+PD)/2)

b = Tan((50.016667+98.794786)/2)

b = 3.582980


c = Cos((B-A)/2)

c = Cos((37.901002-127.6)/2)

c = 0.708961


Tan(ZD/2)= (a * b) / c

Tan(ZD/2)= (0.126190*3.582980)

           / 0.708961

    (ZD/2)= 32.527449

       ZD = 65.054898
```

```
Cos(H) = ( y / x )

y = Cos(ZD) - Cos(Co.Lat) * Cos(PD)

y = Cos(65.054898) - Cos(50.016667)

    * Cos(98.794786)

y = 0.519995


x = Sin(Co.Lat) * Sin(PD)

x = Sin(50.016667) * Sin(98.794786)

x = 0.757222


Cos(H) = ( y / x )

Cos(H) = ( 0.519995 / 0.757222 )

    H  = 46.629441
```

$T_{Qiblah} = T_{Noon} + (H/15)$

$T_{Qiblah} = 17^h\ 17^m\ 12^s + (46.629441/15)$

$T_{Qiblah} = 20^h\ 23^m\ 43^s$ UT

لحساب مواقيت القبلة بدقة، يجب أن تُحسب قيمة ميل الشمس δ عند لحظة الحدث نفسها، لا عند بداية اليوم، وذلك باستخدام طريقة الاستيفاء، وإعادة الحساب من جديد بقيمة الميل المصحح، وبهذه الطريقة البسيطة تضمن دقة أعلى في الحساب.

كذلك من الممكن استخدام جرم سماوي آخر كالنجوم مثلاً أو الكواكب أو حتى القمر لغرض حساب وقت القبلة، في حال تعذر استخدام الشمس في تحديد وقت القبلة أو وقت ظل القبلة، ولم يأت تخصيص الشمس حصرًا سوى لكونها من أظهر وأجل الأجرام السماوية، ما يجعلها الأقرب إلى الإدراك والأوضح للعيان والأسهل للاستدلال.

مثال: - أوجد الوقت العالمي UT الذي يكون عنده نجم الشعرى اليمانية Sirius في مواجهة القبلة تمامًا، لراصد في الموقع الجغرافي 29.25N & 48.00E يوم 26 فبراير 2025، إذا علمت بأن ميل δ النجم 16.753055-، ومطلعه المستقيم α بالوحدات الزمنية يعادل $06^h\ 46^m\ 16^s$، وأن الوقت النجمي θ_G لبداية اليوم $10^h\ 24^m\ 24^s$، وسمت القبلة A للموقع الجغرافي هو 225.2

نحسب مطالع توسط النجم $\theta_{Transit}$ ليوم 26 فبراير، وسنرمز لها بالرمز $\theta_{Transit}$.

$$\theta_{Transit} = \alpha - Long$$

$$\theta_{Transit} = 06^h\ 46^m\ 16^s - (048.00/15)$$

$$\theta_{Transit} = 03^h\ 34^m\ 16^s$$

نقوم بضبط قيمة مطالع توسط النجم وفقًا للقاعدة التالية: -

$$\theta_{Transit} < \theta_G \rightarrow \theta_{Transit} = \theta_{Transit} + 24^h$$

$$\theta_{Transit} = 03^h\ 34^m\ 16^s + 24^h$$

$$\theta_{Transit} = 27^h\ 34^m\ 16^s$$

نقوم بتحويله مطالع توسط النجم إلى التوقيت العالمي UT

$T_{Transit} = \theta_{Transit} - \theta_G$

$T_{Transit} = 27^h\ 34^m\ 16^s - 10^h\ 24^m\ 24^s$

$T_{Transit} = 17^h\ 09^m\ 52^s \quad (\div 1.00273791)$

$T_{Transit} = 17^h\ 07^m\ 03^s$ UT

إذًا وقت توسط $T_{Transit}$ نجم الشعرى اليمانية Sirius يوم 26 فبراير 2025 في الموقع الجغرافي المحدد يحين تمام الساعة UT $17^h\ 07^m\ 03^s$

Co.Lat = 90 - |Lat|

Co.Lat = 90 - |29.25|

Co.Lat = 60.75

$PD = 90 \pm \delta$

$PD = 90 + |-16.753055|$

$PD = 90 + 16.753055$

$PD = 106.753055$

$A = 225.2$

$H < 180 \ \& \ Lat(N) \rightarrow A = 360^\circ - A$

$A = 360 - 225.2$

$A = 134.8$

$Sin(B) = (Sin(A) * Sin(Co.Lat)) / Sin(PD)$

$Sin(B) = (Sin(134.8) * Sin(60.75))$

$/ Sin(106.753055)$

$Sin(B) = 0.646539$

B = 40.281162

Co.Lat < PD

B = B

B = 40.281162

a = Cos((B+A)/2)

a = Cos((40.281162+134.8)/2)

a = 0.042911

b = Tan((Co.Lat+PD)/2)

b = Tan((60.75+106.753055)/2)

b = 9.133184

```
c = Cos((B-A)/2)

c = Cos((40.281162-134.8)/2)

c = 0.678680


Tan(ZD/2)= (a * b) / c

Tan(ZD/2)= (0.042911*9.133184)

           /0.678680

Tan(ZD/2)= 0.577472

   (ZD/2)= 30.005230

      ZD = 60.01046
```

```
Cos(H) = ( y / x )

y = Cos(ZD) - Cos(Co.Lat) * Cos(PD)

y = Cos(60.01046) - Cos(60.75)

    * Cos(106.753055)

y = 0.640685


x = Sin(Co.Lat) * Sin(PD)

x = Sin(60.75) * Sin(106.753055)

x = 0.835463


Cos(H) = ( y / x )

Cos(H) = ( 0.640685 / 0.835463 )

    H  = 39.927052
```

$T_{Qiblah} = T_{Transit} + ((H/15)/1.00273791)$

$T_{Qiblah} = 17^h\ 07^m\ 03^s$
$+((39.927052/15)/1.00273791)$

$T_{Qiblah} = 19^h\ 46^m\ 19^s\ UT$

إذًا يكون نجم الشعرى اليمانية Sirius **في مواجهة القبلة، لراصد في الموقع الجغرافي المحدد، عند تمام الساعة** $19^h\ 46^m\ 19^s$ UT **من يوم** 26 **فبراير** 2025.

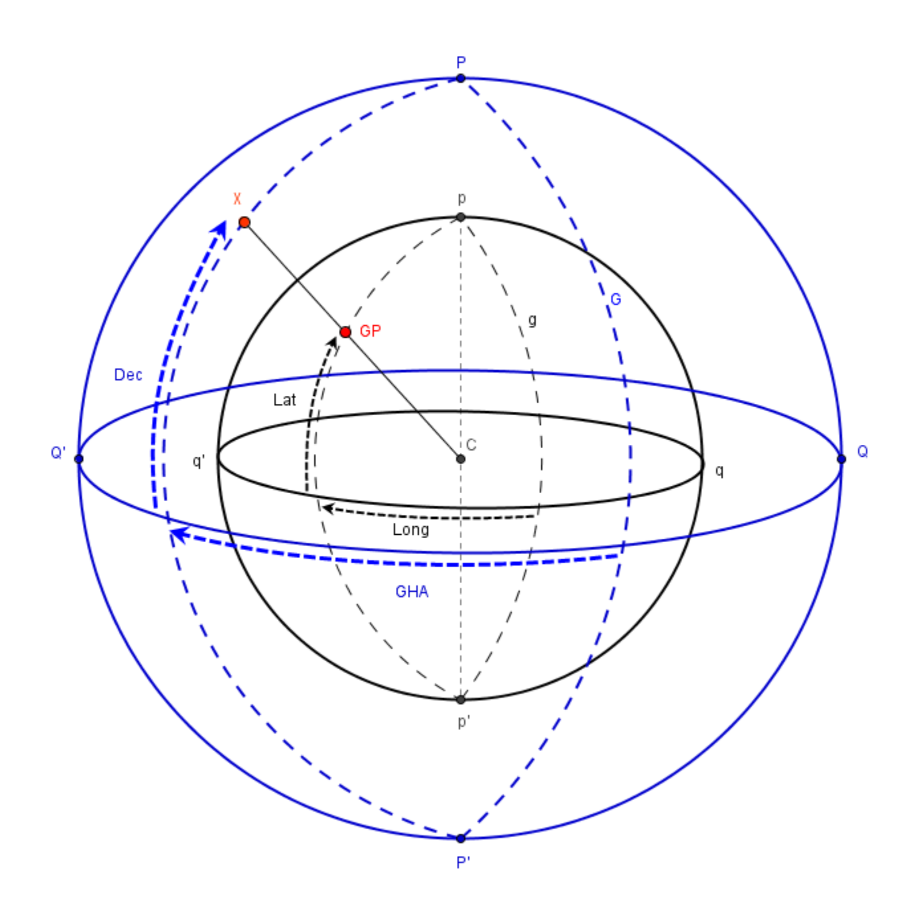
الموقع الجغرافي للجرم السماوي

عندما نريد أن نصف موقعًا معينًا على سطح الكرة الأرضية فإننا نستخدم الإحداثيات الجغرافية لهذا الموقع، والمتمثلة في دائرة العرض Lat، وخط الطول Long بينما عندما نأتي لوصف موقع جرم سماوي معين على سطح الكرة السماوية فإننا نستخدم فيما نستخدم الإحداثيات الاستوائية، والمتمثلة في دائرة الميل δ، والزاوية الساعية H، وبالعودة إلى مفهوم الإحداثيات الاستوائية على سطح الكرة السماوية نجد أن: -

- دائرة الميل δ على سطح الكرة السماوية تمثل دائرة العرض Lat على سطح الكرة الأرضية.
- الزاوية الساعية H على سطح الكرة السماوية تمثل خط الطول Long الغربي على سطح الكرة الأرضية.

بالتالي يكون من الممكن أن يحل أحدهما محل الآخر، بمعنى أننا لو أردنا أن نقوم بعمل إسقاط لجرم سماوي معين على سطح الكرة الأرضية، فإنه من الممكن أن نحدد ونصف موقع هذا الجرم باستخدام عناصر الإحداثيات الجغرافية Lat & Long، وهذا ما يسمى بالموقع الجغرافي للجرم Geographical Position (GP)

من خلال الشكل أدناه يمكن ملاحظة الخط الممتد من مركز الجرم السماوي على سطح الكرة السماوية X، ومركز الكرة الأرضية C، والذي يقطع سطح الكرة الأرضية عند النقطة GP حيث الموقع الجغرافي للجرم السماوي X، وعند هذه اللحظة تحديدًا لو تصادف عندها وجود راصد متمركز في نفس الموقع الجغرافي للجرم السماوي X، فإن هذا الجرم سيكون حينها فوق رأسه مباشرة أي عند سمت الرأس تماماً.



ولا يتحقق ذلك إلا بتحقق الشرطين التاليين: -

- دائرة عرض الراصد Lat تساوي ميل الجرم السماوي δ وبنفس الإشارة.
- الزاوية الساعية للجرم السماوي H تساوي صفرًا (وهذا يكون عند لحظة عبوره الزوالي).

عند هذه اللحظة تحديداً، فإن أي شخص آخر على سطح الكرة الأرضية بمقدوره مشاهدة واستقبال هذا الجرم السماوي، سيكون حينها متجهاً باتجاهك تماماً.

وكما هو معلوم بأن جميع الأجرام السماوية تغير مواقعها السماوية بشكل مستمر بالنسبة للراصد، نتيجة لحركتها اليومية الظاهرية، وبالتالي فإن مواقعها الجغرافية GP تتحرك هي الأخرى على سطح الكرة الأرضية سريعًا من موضع إلى آخر، ولا تكون أبداً ثابتة في موقع واحد.

إن المشكلة في تحقيق الشرطين معًا لا تكمن في شرط العبور الزوالي للجرم السماوي، إذ إن جميع الأجرام السماوية في حركة دورانية مستمرة، تتحرك خلالها على موازيات الميل فيما يسمى بالحركة الظاهرية اليومية ،وبذلك هي تقطع جميع الزوايا الساعية (خطوط الزوال) خلال حركتها اليومية بما في ذلك خط زوال الراصد، لكن

المشكلة أو الصعوبة تكمن في تحقق الشرط الآخر، وهو تساوي خط عرض الراصد Lat مع ميل الجرم السماوي δ، حيث أن الأجرام السماوية لا تتحرك خلال حركتها الظاهرة اليومية على موازي ميل واحد، إنما تتنقل من موازي ميل إلى آخر، حيث تغير من درجة ميولها وبسرعات متفاوتة بحسب معدل حركة هذا الجرم، ويمكن استثناء النجوم من ذلك فقط، بسبب ثبات قيمة ميولها لفترات طويلة نسبياً، وعلى العكس من ذلك يأتي القمر الذي يعتبر معدل تغير ميله سريعًا جداً، وتأتي بينهما كلا من الشمس والكواكب بنسب متفاوتة .

تسامت الأجرام السماوية على الكعبة المشرفة

بالعودة إلى مفهوم الموقع الجغرافي للأجرام السماوية، ومحاولة تطبيقه في حال الكعبة المشرفة، والاستعانة به في مسألة تحديد اتجاه القبلة، ودراسة إحصائية حركة الأجرام السماوية، وتحليلها من حيث عدد مرات تسامتها على الكعبة المشرفة، وسهولة حسابها، ومدى الجدوى العملية منها، ومقارنة النتائج بعضها ببعض، فإنها تجعل الباحث يقسم العمل فيها إلى أربعة مراتب.

تسامت النجوم

النجوم تكاد لا تغير من قيمة ميلها على المدى القصير، وعليه يمكننا القول بأن النجوم ذات الميل المساوي لعرض الكعبة المشرفة قيمة وجهة، تتعامد يوميًا على الكعبة عند لحظة ما خلال اليوم (لحظة المرور الزوالي للنجم)، وهي اللحظة التي تتساوى عندها الزاوية الساعية للنجم مع خط طول الكعبة المشرفة.

وبالبحث في تقاويم النجوم نجد أن النجم بيتا الجاثي (حامل الهراوة) Kornephoros هو الخيار الأفضل من بين بقية النجوم حيث تبلغ درجة ميله 21.43333N أي بفارق 39 ثانية قوسية فقط عن خط عرض الكعبة المشرفة، وبقدر ظاهري يبلغ 2.7 ما يسمح للراصد برؤيته ورصده بشكل جيد، وعليه يكون نجم بيتا الجاثي هو الخيار الأفضل والمثالي لاستخدامه خلال السنوات الحالية والقادمة في تحديد اتجاه القبلة بطريقة التعامد على الكعبة المشرفة[1]، خصوصاُ إذا علمنا بأن معدل تغير درجة ميله في السنوات القادمة ستجعله يقترب أكثر من قيمة خط عرض الكعبة المشرفة.

[1] النجم Kornephoros (β-Herculis) يقع ضمن كوكبة Hercules، ودرجة ميله حاليًا 21.4333N، وهو قريب جدًا من خط عرض مكة، ما يجعل لحظة عبوره الزوالي مطابقة تقريبًا للقبلة.
ونظرًا لأن حركته الخاصة Proper Motion في الميل بطيئة جدًا (−0.015 ثانية قوسية في السنة)، فإن موقعه سيبقى مناسبًا لهذا الغرض لعقود طويلة قادمة.

تسامت الشمس

وهي من أظهر وأجل الأجرام السماوية، ولذلك يترقب الفلكيون ظاهرة تعامد الشمس على الكعبة المشرفة في كل عام، ويجدر بالذكر أن الشمس وأثناء حركتها السنوية الظاهرية تتعامد على الكعبة مرتين في العام الواحد حيث يحدث أول تعامد بتاريخ 27 مايو، بينما يحدث التعامد الثاني بتاريخ 15 يوليو عند وقت الظهر في مكة المكرمة، حيث تتساوى درجة ميل الشمس في هذين اليومين مع خط عرض الكعبة المشرفة (قد يحصل اختلاف في الموعد ليوم واحد فقط)، فتتعامد الشمس على الكعبة عند وقت المرور الزوالي المحلي للشمس أي عند وقت آذان الظهر في مكة المكرمة.

إن تطبيق تحديد اتجاه القبلة باستخدام ظاهرة تعامد الشمس على الكعبة المشرفة لا يقتصر تنفيذه في يومي التعامد فقط بل من الممكن أن يمتد لعدة أيام قبل وبعد يومي التعامد، وفرصة ذلك تتوقف على موقع الشمس في أفق البلاد المطلوب تحديد القبلة فيها، فكلما كانت الشمس قريبة من الأفق ناحية الشرق أو الغرب في تلك البلاد، تكون فرصة تحديد اتجاه القبلة باستخدام هذه الظاهرة متاحة بشكل أكبر ولعدة أيام قبل وبعد يومي التعامد، وذلك يرجع إلى قاعدة أن الأجرام

السماوية القريبة من الأفق يكون معدل تغير اتجاهها نسبة إلى الوقت أقل مما لو كانت قريبة من سمت الرأس، ويمكن تفسير ذلك كنتيجة لتقارب الدوائر الرأسية عند أقطابها المتمثلة بسمت الرأس والنظير، ولذلك يتغير اتجاه الجرم السماوي بسرعة أكبر بالقرب من إحدى هاتين النقطتين بينما يتغير ببطيء بالقرب من الأفق الشرقي أو الغربي، وهذا ينطبق على تلك الدول التي يكون فرق الطول بينها وبين مكة كبيرًا، ونتيجة لذلك يكون فرق التوقيت كبيرًا هو الآخر، وفي نفس الوقت تكون الشمس فيها ظاهرة فوق الأفق وقريبة منه عند وقت تعامدها على الكعبة المشرفة، حيث يمكن لسكان تلك البلاد الاستفادة من هذه الظاهرة في تطبيق تحديد اتجاه القبلة حتى لعشرة أيام قبل وبعد يومي التعامد، وذلك بدرجة مقبولة من الدقة.

في بعض مناطق الكرة الأرضية التي يصادف أن تحدث فيها هذه الظاهرة خلال فترات الليل حيث تكون الشمس فيها أسفل الأفق، فإننا نستخدم ظاهرة أخرى، وهى تعامد الشمس على النقطة المقابلة لموقع الكعبة المشرفة من الكرة الأرضية بما يسمى بقطب الكعبة، والتي تقع في الموقع الجغرافي 21.422502S & 140.173819W فعند تعامد الشمس على هذه النقطة، يكون اتجاه القبلة عكس اتجاه الشمس حيث يكون حينئذ باتجاه الظل المبسوط، ويحدث ذلك تقريباً

يومي 28 نوفمبر عند الساعة UT 21:09، ويوم 13 يناير عند الساعة UT 21:29 من كل عام (قد يحصل اختلاف في الموعد ليوم واحد فقط).

تسامت القمر

وصعوبة البحث في حسابه تأتي من جهة أنه لا يكفي للحكم على المسامتة بمجرد بلوغ ميل القمر درجة عرض الكعبة المشرفة، بل يجب أن يحدث ذلك عند لحظة توسط القمر على خط الزوال، وبخلاف بقية الأجرام السماوية فإن حركة ميل القمر سريعة جدًا، ومتغيرة بين لحظة وأخرى، فقد يصادف أن تجد بأن ميل القمر يبلغ عند لحظة شروقه نفس مقدار خط عرض الكعبة المشرفة، ولكن ما أن يتوسط على خط زوال الكعبة إلا وقد ابتعد عن الكعبة نحو الشمال أو الجنوب بمقدار درجة أو درجة ونصف، فلا يكون حينها متاحًا من أجل استخدامه في معرفة اتجاه القبلة. فضلاً عما ذكرناه من صعوبة ومشقة في معرفة مواقيت تسامت القمر، فإنه كذلك قليل الحدوث مقارنة بعدد دوراته في السنة حول الأرض، والتي تبلغ 12 دورة، وإن حدث ذلك فلابد من أن يكون ظاهرًا في السماء حتى يتاح رصده.

تسامت الكواكب

وما يهمنا منها هي الكواكب المرئية بالعين المجردة، سواء الكواكب الداخلية (عطارد، الزهرة) أو الكواكب الخارجية (المريخ، المشتري، زحل) فإنه بمجرد أن تبلغ قيمة ميل الكوكب خط عرض الكعبة المشرفة، تقع المسامتة مباشرة عند وقت مرورها الزوالي، إلا أن الكواكب الداخلية وأثناء حدوث التسامت دائما ما يصادف حدوثه خلال ساعات النهار، نظرًا لقرب مداراتها الفلكية من الشمس، وبالتالي لا تتاح فرصة مشاهدة تسامت الكواكب الداخلية بالنسبة للدول القريبة من مكة المكرمة، وإنما يرى قبل شروق الشمس أو بعد غروبها بحسب درجة وجهة استطالة الكوكب الداخلي في الدول الشرقية والغربية البعيدة عن مكة.

تبقى هنا ملاحظة يجدر الانتباه إليها، وهي أن أغلب حالات التعامد سواء للنجوم أو الشمس أو حتى القمر والكواكب، يندر فيها أن يكون ميل الجرم السماوي مطابقًا تماماً لخط عرض الكعبة المشرفة لحظة مروره الزوالي، إنما يفرق بمقادير مختلفة، يمكن حصرها في قيمة أجدها مقبولة وهي من ثلاثة إلى خمسة دقائق قوسية، وحتى تكون الصورة أكثر وضوحاً فإننا لو فرضنا وجود فرق قيمته ثلاثة دقائق قوسية بين

ميل الجرم السماوي لحظة عبوره الزوالي، وبين خط عرض الكعبة المشرفة، فهذا يعني بأن الجرم يبعد مسافة ثلاثة دقائق قوسية شمال أو جنوب الكعبة، وهي ما يعادل مسافة تقدر بحوالي ثلاثة أميال على سطح الكرة الأرضية، وبالتالي يجب الانتباه إلى هذا الاختلاف، إذ إن الراصد سيلاحظ اختلافًا في درجة اتجاه القبلة، ويستثنى من ذلك تلك المناطق التي تقع على نفس خط طول الكعبة المشرفة.

تبقى مشكلة الكواكب والنجوم في صعوبة رصد اتجاهاتها، حيث يستخدم لهذا الغرض البوصلة المزودة بما يعرف بدائرة السمت Azimuth Circle، والتي يتم تثبيتها على وجه البوصلة وأخذ اتجاهات الأجرام السماوية من خلالها، كما يجب ملاحظة أنه في الوقت الذي يتعامد عنده الجرم السماوي على الكعبة المشرفة، سيكون في الدول المجاورة والقريبة مرتفعًا جدًا عن الأفق، وقريبًا من خط الزوال المحلي في هذه الدول، مما يجعل عملية رصد اتجاهه صعبة، مع قابلية كبيرة للوقوع في الخطأ أثناء عملية الرصد، ناهيك عن التصحيحات المفروضة والواجب معرفتها ومعالجتها مسبقاً من البوصلة ودائرة السمت، بينما يكون الأمر أكثر سهولة في حال الشمس، نظرًا لإمكانية استخدام الظل المبسوط في تحديد اتجاه القبلة.

الزوال الفلكي وحركة الشمس

يُعرَف الزوال فلكيًا على أنه اللحظة التي يعبر فيها مركز قرص الشمس خط الزوال المحلي، وتُعد هذه اللحظة وقت الظهر الحقيقي، حيث تكون الشمس في أعلى ارتفاع لها في السماء بالنسبة للراصد، ويكون ظل الشاخص في أقصر حالاته.

وقد يظن البعض أن الشمس تتوقف قليلًا عند هذه اللحظة، لأنها تبدو وكأنها ساكنة في كبد السماء. في الحقيقة، تستمر الشمس في حركتها الظاهرية دون توقف، منتقلة من جهة الشرق نحو الغرب بسبب دوران الأرض حول محورها. وما يبدو من ثبات للظل عند الزوال لا يدل على توقف حقيقي، بل هو نتيجة لبطء التغير في زاوية الشمس الرأسية عند أعلى نقطة لها، مما يجعل حركة الظل اللحظية غير محسوسة تقريبًا.

بعد لحظة الزوال مباشرة، تبدأ الشمس في الانخفاض تدريجيًا، ويتحوّل اتجاه ظل الشاخص من الغرب إلى الشرق، ويستمر هذا التغير حتى غروب الشمس.

بعض الفقهاء يرون أن وقت الظهر لا يدخل إلا بعد أن تعبر الشمس خط الزوال بكامل قرصها.

الزمن المستغرق بين عبور المركز وخروج الحافة يحسب بالعلاقة التالية: -

$$\Delta t = SD / (15.04107 \times \cos(\delta))$$

حيث إن: -

Δt الزمن من الزوال إلى عبور الحافة الشمسية (بالساعات الزمنية)

SD نصف القطر الظاهري للشمس بالدرجات

δ درجة ميل الشمس وقت الزوال

تأثير الارتفاع على توقيت شروق وغروب الشمس

عندما يكون الراصد في موقع مرتفع عن سطح البحر (مثل قمة جبل)، فإنه يرى الأفق أوسع وأبعد، مما يسمح له برؤية الشمس قبل أن تظهر عند مستوى سطح البحر. ونتيجة لذلك:

- يحدث شروق الشمس أبكر من التوقيت المعتاد عند سطح البحر.
- ويحدث غروب الشمس متأخرًا عن التوقيت المعتاد أيضًا.

لكن إذا كانت الأرض المحيطة كلها مرتفعة بنفس القدر (مثل الهضاب أو المرتفعات الواسعة)، فإن تأثير الارتفاع يُهمل لأن الأفق يبدو متساويًا بالنسبة للراصد.

ولحساب مقدار هذا الفرق الزمني Δt الناتج عن الارتفاع بالدقائق الزمنية، على اعتبار أن H تمثل الارتفاع عن سطح البحر بالمتر، يمكن استخدام المعادلة التالية كتقريب ممتاز لهذا الفرق الزمني: -

$$\Delta t=(0.140*\sqrt{H})/(\mathrm{Cos}(Lat+\delta)\mathrm{Cos}(Lat-\delta))$$

الشروق والغروب النظري

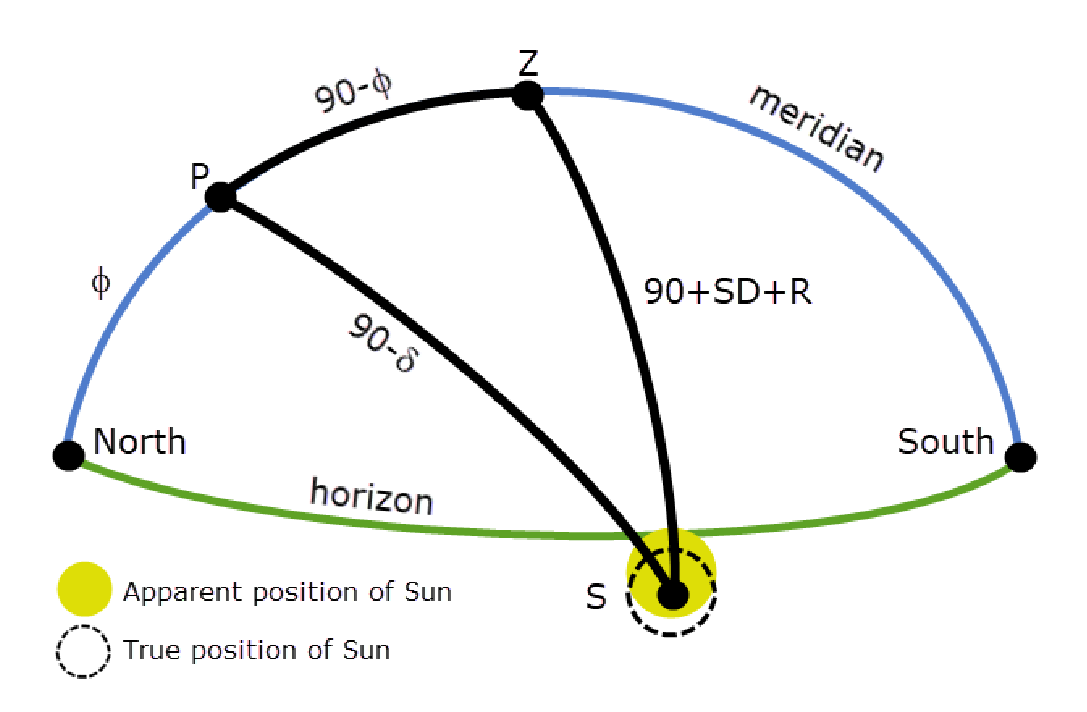
الشروق أو الغروب النظري هو مفهوم فلكي يشير إلى اللحظة التي يكون فيها مركز قرص الشمس الهندسي تمامًا على الأفق الكروي النظري (المعروف بالأفق الحقيقي)، دون اعتبار لأي مؤثرات بصرية مثل الانكسار الجوي أو نصف قطر قرص الشمس. ففي هذه اللحظة يكون ارتفاع مركز قرص الشمس يساوي الصفر.

يحسب نصف قوس النهار H للشروق أو للغروب النظري من خلال الصيغة التالية: -

$$\text{Cos}(H) = -\text{Tan}(\text{Lat})\,\text{Tan}(\delta)$$

عند أخذ كل من الانكسار الجوي ونصف القطر الزاوي لقرص الشمس بعين الاعتبار، والتي يبلغ مجموع قيمتهما المتوسطة نحو 0.833 درجة، ومع افتراض أن الراصد يقف على مستوى سطح البحر، يمكن تحويل لحظة الشروق أو الغروب النظري إلى لحظة مرئية تُشاهد فعليًا من سطح الأرض. فبينما يفترض الشروق النظري أن مركز الشمس يكون تمامًا على الأفق النظري المجرد، فإن التأثير البصري للغلاف الجوي يرفع صورة الشمس قليلًا فوق موقعها الحقيقي، ويُظهر الحافة العلوية

للقرص قبل أن يصل مركز الشمس إلى الأفق. هذا يعني أن الشروق أو الغروب يُرى بالعين المجردة عندما يكون مركز الشمس لا يزال تحت الأفق النظري، ويُحسب حينها بالرجوع إلى الأفق الحسي الذي يتوافق مع ما يراه الراصد فعليًا.



وعليه، فإن الفرق بين الشروق النظري والمرئي ناتج عن هذه الظواهر البصرية، ويُؤخذ في الاعتبار عند حساب أوقات الشروق والغروب الفلكية الدقيقة.

ويمكن حساب هذا التأثير بالثواني الزمنية من خلال خطوات الحل التالية: -

حساب ميل مسار الشمس a عند الأفق

$$\cos(a) = \sin(Lat)/\cos(\delta)$$

حساب القوس الزاوي y الذي تقطعه الشمس أثناء الشروق أو الغروب

$$\sin(y) = \sin(0.833)/\sin(a)$$

تحويل هذا القوس إلى مدة زمنية t (بالثواني)، وتضاف إلى نصف قوس النهار H للشروق أو للغروب النظري

$$t = 240y/\cos(\delta)$$

فرق المواقيت بين موقعين مختلفين

تختلف مواقيت الصلاة بين المناطق الجغرافية بحسب اختلاف خطوط الطول والعرض بينها، إذ تتحكم هذه الإحداثيات في موقع الشمس الظاهري في السماء بالنسبة للراصد. فبينما يؤدي اختلاف خط الطول إلى تغير في توقيت مرور الشمس على خط الزوال (وبالتالي في التوقيت العام للمواقيت)، يؤثر اختلاف خط العرض على زاوية ارتفاع الشمس فوق الأفق، مما يغير وقت حدوث الظواهر الفلكية مثل الشروق والغروب والفجر والعشاء والعصر. وتجدر الإشارة إلى أن معظم التقاويم المعتمدة في المدن تُحسب بناءً على إحداثيات مركز المدينة ($Lat_1, Long_1$)، مما يؤدي إلى وجود فروقات زمنية ملحوظة في المواقيت بالنسبة للمناطق الواقعة في أطراف المدينة، وخاصة المدن الكبيرة ذات الامتداد الجغرافي الواسع.

ولحساب هذه الفروقات بشكل تقريبي، يمكن استخدام علاقة فلكية مبسطة تربط فرق الزمن باختلاف خطي الطول والعرض، وميل الشمس. إلا أن صلاحية هذه المعادلة تقتصر على الحالات التي يكون فيها الفرق بين الموقعين صغيرًا (أقل من درجة في خط الطول أو العرض)، كما تُستخدم بشكل أكثر دقة مع المواقيت المرتبطة بارتفاع

ثابت للشمس (كالغروب والشروق)، بينما تقل دقتها في مواقيت مثل الفجر والعشاء، ولا تصلح لتقدير وقت العصر لاعتماده على شروط فلكية أكثر تعقيدًا. وفي الحالات التي تتطلب دقة عالية، خاصة في المناطق البعيدة أو ذات التضاريس المتغيرة، يُفضل الاعتماد على الحسابات الفلكية الكاملة لكل موقع على حدة.

في حالة وقت الزوال، فإن حساب فرق الوقت Δt بالدقائق الزمنية يكون أبسط مما هو عليه في باقي المواقيت، لأن الزوال يحصل عندما تكون الشمس على خط الزوال المحلي.

$$\Delta t = \Delta Long * 4$$

أما فرق الوقت Δt بين موقعين جغرافيين في مواقيت الصلاة المرتبطة بزاوية معينة من ارتفاع الشمس، مثل: الشروق، والغروب، والفجر، والعشاء.

$$\Delta t = (\Delta Long - Tan(\delta) * \Delta Lat) * 4$$

$$\Delta Long = Long_1 - long_2$$

$$\Delta Lat = Lat_1 - Lat_2$$

العبور الزوالي وأقصى ارتفاع

يعتبر تحديد وقت الزوال من المسائل الفلكية الدقيقة التي ترتبط بحركة الشمس الظاهرية اليومية في السماء، وهو الأساس الذي يُبنى عليه كثير من المطالب الفلكية والملاحية. ويظن كثير من الناس أن لحظة الزوال Meridian Transit أي عندما تكون الزاوية الساعية المحلية H مساوية للصفر هي نفسها لحظة بلوغها أقصى ارتفاع عن الأفق Culmination، إلا أن هذا الاعتقاد غير دقيق من الناحية الفلكية باستثناء الأجرام الثابتة كحال النجوم، لأن حركة الشمس اليومية ليست عمودية تمامًا على الأفق، بل تتحرك على مسار مائل يتأثر بعوامل متعددة أهمها معدل سرعة تغيّر درجة الميل، وخط عرض الراصد الجغرافي. ولهذا فإن علاقة الزوال بأقصى ارتفاع للشمس ليست دائمًا متطابقة.

وعند تحليل هذه الظاهرة بدقة، يتبين أن العامل الأساسي في اختلاف توقيت الزوال عن أقصى ارتفاع هو تغير ميل الشمس بالنسبة للزمن، وما إذا كانت الشمس تقترب من دائرة عرض الراصد أو تبتعد عنها. فإذا كانت الشمس تقترب من موقع الراصد (أي أن ميلها يزداد وكان الراصد في نصف الكرة الشمالي، أو أن ميلها ينقص وكان الراصد في نصف الكرة

الجنوبي)، فإنها تستمر في الارتفاع قليلاً بعد عبورها خط الزوال، ويحدث أقصى ارتفاع بعد الزوال. أما إذا كانت الشمس تبتعد عن الراصد (أي أن ميلها ينقص في النصف الشمالي، أو يزداد في النصف الجنوبي)، فإنها تبدأ بالانخفاض قبل الزوال، ويحدث أقصى ارتفاع قبل عبورها خط الزوال. وهذا يوضح أن النظر إلى تغير ميل الشمس فقط لا يكفي، بل لا بد من ربطه بموقع الراصد الجغرافي.

ويحسب الفرق بالثواني الزمنية Δt بين لحظة الزوال Transit، ولحظة بلوغ أقصى ارتفاع عن الأفق Culmination من خلال الصيغة الرياضية التالية: -

$$\Delta t = 15.27887454 * (\mathrm{Tan}(Lat) - \mathrm{Tan}(\delta)) * \Delta\delta$$

حيث إن: -

Δt الفرق بين الزوال وأقصى ارتفاع بالثواني الزمنية

δ درجة الميل عند وقت الزوال

Δδ معدل تغير الميل بالنسبة للزمن بوحدة الدقيقة القوسية لكل ساعة

ويحسب معدل تغير الميل بالنسبة للزمن بوحدة الدقيقة القوسية لكل ساعة $\Delta\delta$ بالطريقة التالية: -

$$\Delta\delta = ((\delta_2 - \delta_1) / 24) \times 60$$

حيث إن: -

δ_1 درجة الميل لليوم الأول

δ_2 درجة الميل لليوم التالي

يُضاف إلى ذلك أن نصفي قوس النهار (قبل الزوال وبعده) ليسا متماثلين في الطول الزمني، وذلك بسبب التغير المستمر في سرعة حركة الشمس الظاهرية اليومية، الناتج عن تغير ميلها بالنسبة للزمن. فالشمس لا تتحرك بسرعة زاوية ثابتة بالنسبة لخط الأفق خلال النهار، بل تختلف درجة ميل مسارها، وهذا يؤدي إلى أن يكون طول الفترة الزمنية من الشروق إلى الزوال مختلفًا قليلاً عن الفترة من الزوال إلى الغروب. ويزداد هذا الفرق وضوحًا في الأيام التي يزداد فيها معدل تغير درجة ميل الشمس، مثل فترات الاعتدالين، وكذلك في خطوط العرض العليا. ولذلك، فإن لحظة الزوال لا تمثل دائمًا منتصف النهار الزمني الحقيقي، ولا تتطابق مع لحظة أعلى ارتفاع للشمس.

التغير اللحظي لارتفاع الشمس

تتحرك الشمس في السماء خلال اليوم على مسار ظاهري ناتج عن دوران الأرض حول محورها. هذا المسار ليس عموديًا على الأفق، بل مائل بزاوية تختلف باختلاف الموقع الجغرافي والفصل من السنة. نتيجةً لهذا الميل، فإن السرعة التي تتغير بها الشمس في الارتفاع عن الأفق (ارتفاعها الرأسي) لا تكون ثابتة طوال اليوم. ومن هنا تنشأ الحاجة إلى حساب المعدل اللحظي لتغيّر ارتفاع الشمس بدقة، خاصة في التطبيقات الفلكية مثل تحديد أوقات الصلاة أو دراسة ظواهر مثل الشفق الفلكي. لمعالجة هذا التغيّر غير المنتظم، نستخدم معادلة فلكية تربط بين العناصر الهندسية للموقع وحركة الشمس الظاهرية، ويحسب معدل تغيّر الارتفاع بدلالة الزمن الحقيقي dh/dt بوحدة الدرجة لكل دقيقة زمنية.

```
dh/dt = ((cos(Lat)*cos(δ)*sin(H))
          /cos(h)) * 0.25
```

حيث إن: -

H الزاوية الساعية المحلية (سالبة قبل الزوال، وموجبة بعد الزوال)

$H = \theta_{L.UT} - \alpha$ (مع الاحتفاظ بإشارة الناتج)

h درجة ارتفاع الشمس (للشروق والغروب يكون الارتفاع -0.833)

تعمل المعادلة على ترجمة حركة الشمس الظاهرية على القبة السماوية إلى مقدار التغيّر الرأسي (الارتفاع) الذي تلاحظه عين الراصد، حيث تأخذ في الاعتبار ميل المسار الظاهري للشمس واتجاه حركتها اللحظية. إذا كانت الزاوية الساعية سالبة (قبل الزوال)، تكون الشمس في طور الصعود، فينتج معدل موجب، أما إذا كانت موجبة (بعد الزوال)، فإن الشمس تكون في طور الهبوط، فيكون الناتج سالبًا، مما يعكس انخفاضها في الأفق. وبذلك تعكس المعادلة بدقة متى ترتفع الشمس أو تنخفض، وكم تحتاج من وقت لتغيّر ارتفاعها بدرجة واحدة.

إذا كنا نحسب الزمن اللازم لقطع درجة واحدة من الارتفاع، فإننا نعتمد على معكوس المعدل اللحظي لتغير ارتفاع الشمس .فالمعادلة تعطي لنا كم درجة يرتفع أو ينخفض بها ارتفاع الشمس في الدقيقة الواحدة.

وإذا أخذنا معكوس هذه القيمة المطلقة، فإننا نحصل على عدد الدقائق الزمنية التي تحتاجها الشمس لتتغير درجة واحدة في الارتفاع.

الزمن لكل درجة ارتفاع = 1 / |dh/dt|

الناتج هو الزمن بالدقائق الذي تحتاجه الشمس لتتغير درجة واحدة في الارتفاع الرأسي عن الأفق، وتُعد هذه الطريقة أدق من استخدام المتوسط العام (4 دقائق لكل درجة)، لأنها تأخذ في الحسبان أن الشمس لا تتحرك عموديًا على الأفق، بل على مسار مائل، وبالتالي فإن سرعتها في التغير الرأسي تختلف من لحظة لأخرى. على سبيل المثال، تكون هذه السرعة صغيرة جدًا عند الشروق والغروب، لأن مسار الشمس يكون قريبًا من الأفق، فتحتاج وقتًا أطول لتتغير درجة واحدة في الارتفاع. أما قرب الزوال، فإن الشمس تتحرك في السماء بشكل أكثر عمودية، فيكون التغير في الارتفاع أسرع، وبالتالي يكون الزمن اللازم لقطع درجة واحدة أقل.

هذا المفهوم أساسي في الحسابات الفلكية الدقيقة، مثل تحديد لحظة بلوغ الشمس زاوية 18- لحساب نهاية الشفق، أو لحساب مدة الشفق.

اتجاه القبلة في بعض المدن والعواصم

المدينة	خط العرض	خط الطول	اتجاه القبلة	منطقة زمنية
الكعبة المشرفة	21.4225	39.8262	------	UTC+3
المدينة المنورة	24.4686	39.6142	176.27	UTC+3
القاهرة	30.0444	31.2357	135.98	UTC+2
الجزائر	36.7372	3.0863	105.3	UTC+1
بغداد	33.3152	44.3661	199.91	UTC+3
دمشق	33.5138	36.2765	164.47	UTC+2
جاكرتا	-6.2088	106.8456	295.02	UTC+7
كوالالمبور	3.1390	101.6869	292.44	UTC+8
إسطنبول	41.0082	28.9784	151.51	UTC+3
كراتشي	24.8607	67.0011	267.79	UTC+5
دكا	23.8103	90.4125	277.59	UTC+6
كابول	34.5553	69.2075	250.89	UTC+4:30
طهران	35.6892	51.3890	218.54	UTC+3:30
الرياض	24.7136	46.6753	243.93	UTC+3
الدوحة	25.2760	51.5200	252.75	UTC+3
الكويت	29.3759	47.9774	224.78	UTC+3
عمّان	31.9539	35.9106	160.62	UTC+2
بيروت	33.8886	35.4955	161.76	UTC+2
مسقط	23.5880	58.3829	266.48	UTC+4
صنعاء	15.3694	44.1910	326.12	UTC+3
نيويورك	40.7128	-74.0060	58.4	UTC-5
لوس أنجلوس	34.0522	-118.2437	23.77	UTC-8
لندن	51.5074	-0.1278	118.87	UTC+0
باريس	48.8566	2.3522	119.04	UTC+1

المدينة	خط العرض	خط الطول	اتجاه القبلة	منطقة زمنية
روما	41.9028	12.4964	123.14	UTC+1
مدريد	40.4168	-3.7038	103.86	UTC+1
برلين	52.5200	13.4050	136.58	UTC+1
أمستردام	52.3676	4.9041	125.48	UTC+1
موسكو	55.7558	37.6173	176.35	UTC+3
ستوكهولم	59.3293	18.0686	148.16	UTC+1
زيورخ	47.3769	8.5417	124.84	UTC+1
فيينا	48.2082	16.3738	136.59	UTC+1
بروكسل	50.8503	4.3517	123.36	UTC+1
بكين	39.9042	116.4074	278.97	UTC+8
طوكيو	35.6762	139.6503	293.07	UTC+9
سيول	37.5665	126.9780	285.77	UTC+9
بانكوك	13.7563	100.5018	286.85	UTC+7
سيدني	-33.8688	151.2093	277.32	UTC+10
ملبورن	-37.8136	144.9631	278.64	UTC+10
ساو باولو	-23.5505	-46.6333	69.09	UTC-3
بوينس آيرس	-34.6037	-58.3816	76.44	UTC-3
كيب تاون	-33.9249	18.4241	23.47	UTC+2
نيروبي	-1.2921	36.8219	7.25	UTC+3
تورونتو	43.6510	-79.3470	54.52	UTC-5
فانكوفر	49.2827	-123.1207	16.61	UTC-8
ميامي	25.7617	-80.1918	56.53	UTC-5
شيكاغو	41.8781	-87.6298	48.58	UTC-6
طرابلس (ليبيا)	32.8872	13.1913	109.06	UTC+2

المدينة	خط العرض	خط الطول	اتجاه القبلة	منطقة زمنية
بنغازي	32.1167	20.0667	116.29	UTC+2
الخرطوم	15.5007	32.5599	48.4	UTC+2
نواكشوط	18.0735	-15.9582	76.52	UTC+0
المنامة	26.2235	50.5876	246.38	UTC+3
أبو ظبي	24.4539	54.3773	260.24	UTC+4
دبي	25.2770	55.2962	258.07	UTC+4
الشارقة	25.3463	55.4209	257.96	UTC+4
الرباط	34.0209	-6.8416	94.53	UTC+1
الدار البيضاء	33.5731	-7.5898	93.59	UTC+1
فاس	34.0331	-5.0000	95.73	UTC+1
تونس	36.8065	10.1815	112.54	UTC+1
صفاقس	34.7406	10.7603	109.76	UTC+1
جيبوتي	11.8251	42.5903	344.86	UTC+3
مقديشو	2.0469	45.3182	344.88	UTC+3
هرجيسا	9.5624	44.0770	341.37	UTC+3
زنجبار	-6.1659	39.2026	1.26	UTC+3
إسلام أباد	33.6844	73.0479	256.02	UTC+5
لاهور	31.5497	74.3436	260.4	UTC+5
بيشاور	34.0151	71.5805	254.16	UTC+5
القدس	31.7683	35.2137	157.08	UTC+2
غزة	31.5018	34.4666	153.18	UTC+2
المكلا	14.5407	49.1240	309.08	UTC+3

ملاحظة: المنطقة الزمنية المدرجة لكل مدينة تُطابق توقيتها الرسمي القياسي، كما يجب مراعاة التوقيت الصيفي إن وُجد.

قائمة المراجع والمصادر العلمية

الكتب والأوراق البحثية

- Jean Meeus. Astronomical Algorithms. 2nd ed., Willmann-Bell, 2009.
- Peter Duffett-Smith. Practical Astronomy with your Calculator or Spreadsheet. 4th Edition.
- Manohar Narayan Purohit. A Guide to Astronomical Calculations.
- Al-Ojairi, Saleh Mohammad. Prayer Times and Qibla: Rules and Examples. Al-Ojairi Library, Kuwait, 1988.
- U.S. Naval Observatory. The Astronomical Almanac (annual editions).
- Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac. 3rd Edition. Sean E. Urban & P. Kenneth Seidelmann, eds.

- W. Smart. Textbook on Spherical Astronomy. Cambridge University Press.
- Taff, Lawrence. Computational Spherical Astronomy.
- How to Compute Planetary Positions, unpublished notes, 1979, based on van Flandern & Pulkkinen (1980), Astrophys. J. Suppl. Ser.
- Mohammad Ilyas. A Modern Guide to Astronomical Calculations of Islamic Calendar.
- Odeh, M. Shawkat. Astronomical and Jurisprudential Issues Regarding Prayer Times: An Analytical Study, 2010.
- Özlem, A. (n.d.). Impact of Atmospheric Refraction on Asr Time. Istanbul, Turkey.

أدوات ومواقع فلكية رقمية

- Stellarium Astronomy Software.
- Islamweb. "Prayer Times." Ahadith Al-Ahkam (Hadiths of Legal Rulings), www.islamweb.net/ar/article/178675/
- Timeanddate.com – Sun and Moon Calculators.
- USNO Astronomical Applications Department – Rise, Set, Transit Tables.
- IAU – Resolutions on Time Scales (UT, TAI, TT, UTC, ΔT).
- NASA/JPL Horizons System. https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons
- NOAA Solar Calculator Technical Documentation.
- Fred Espenak. "Polynomial Expressions for Delta T (ΔT)." NASA Eclipse Website.

- IERS – International Earth Rotation and Reference Systems Service. Official site: https://www.iers.org
- BIPM – Bureau International des Poids et Mesures. Official site: https://www.bipm.org
- Mohammad Odeh. Accurate Times Software. Official prayer time calculation software adopted by Jordan and UAE. https://www.icoproject.org
- Ibrahim Reda and Afshin Andreas. Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications. NREL. https://midcdmz.nrel.gov/spa/

فهرس المحتويات

هذا ما جادت به معرفتي، فإن كان فيه ما ينفع، فذلك من فضل الله وعطائه، وإن كان فيه نقص أو تقصير، فحسبي أني اجتهدت، والكمال لله وحده.

Ahmad Mohammad Alansari

Alansari.mail@gmail.com

